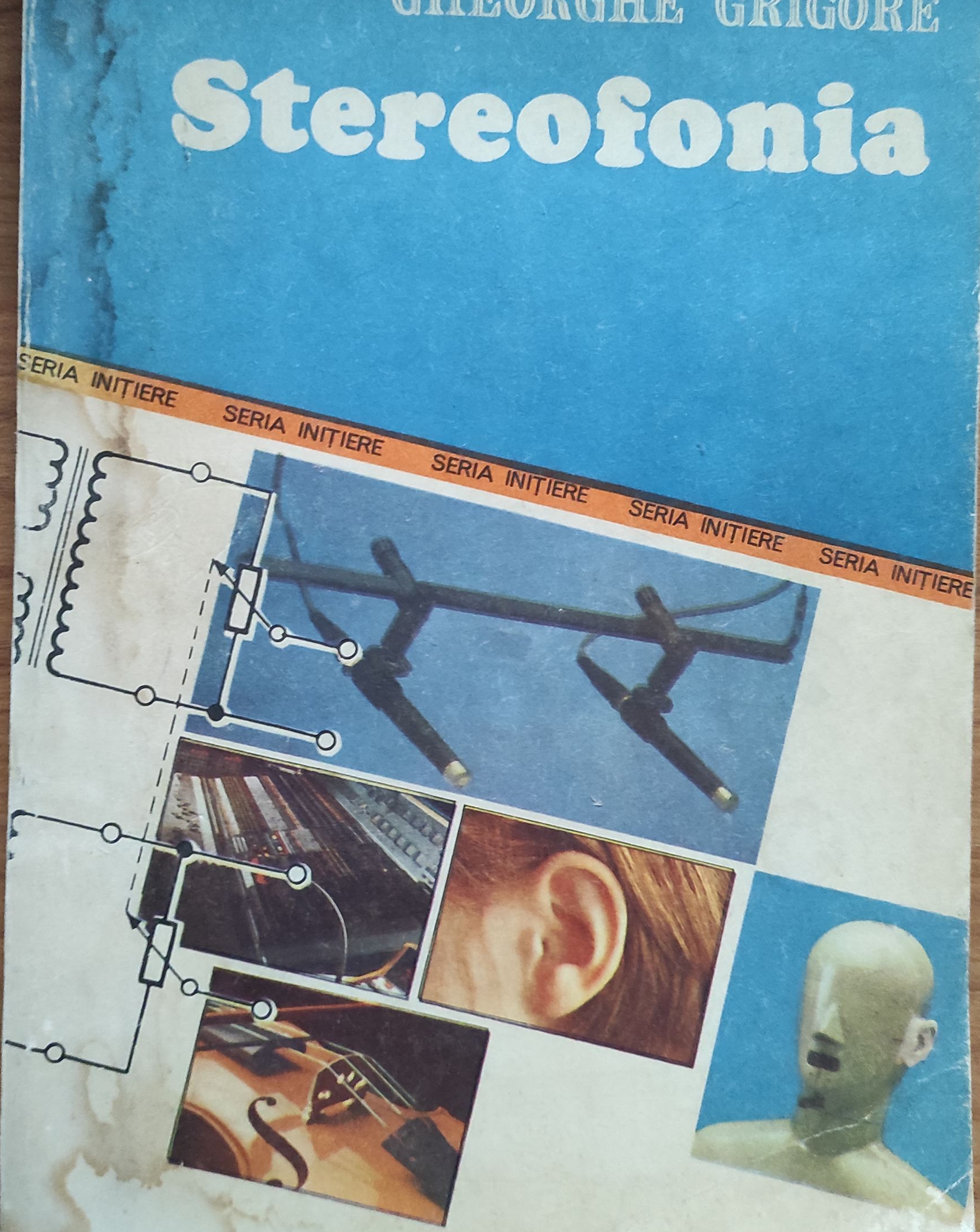
GHEORGHE GRIGORE

Stereofonia

SERIA INIȚIERE SERIA INIȚIERE SERIA INIȚIERE SERIA INIȚIERE SERIA INIȚIERE SERIA INIȚIERE



Ing. GHEORGHE GRIGORE

STEREOFONIA

Editura Tehnică
București 1991

Cartea de faţă, scrisă de un specialist cu mulţi ani de experienţă în cadrul Radiodifuziunii, se dorește o introducere utilă în problemele tehnicii stereofonice. Ea cuprinde o prezentare pe larg a diverselor metode de captare și redare stereo. Alături de acestea, sînt tratate și o serie de aspecte comune stereofoniei și monofoniei — microfoane, difuzoare etc. —, precum și unele chestiuni de mai strictă actualitate privind tehnicile moderne de înregistrate și redare a sunetului (CD, înregistrarea magnetică digitală).

Lucrarea este destinată în special inginerilor și studenților, dar este accesibilă unui public mai larg, de amatori interesați de tehnica sunetului.

© EDITURA TEHNICĂ, 1991
Editura Tehnică, Piața Presei Libere nr. 1, RO-79738, București, România.

ISBN 973-31-0291-1

CUPRINS

Introducere : Dezvoltarea stereofoniei 9

1. Noţiuni fundamentale despre sunet 13

1.1. Undele acustice 13
1.2. Cîmpul sonor 15
1.3. Propagarea sunetului în condiţii specifice 20
1.3.1. Propagarea sunetului în aer liber 20
1.3.2. Propagarea sunetului în spaţii închise 21
1.4. Proprietăţile fizice ale sunetului 25
1.4.1. Frecvenţa 26
1.4.2. Intensitatea 27
1.4.3. Componenţa spectrală 28
1.4.4. Durata 29
1.4.5. Regimul tranzitoriu 30

2. Noţiuni de acustică fiziologică 31

2.1. Mecanismul audiţiei 31
2.1.1. Anatomia organului auditiv 31
2.1.2. Proprietăţile organului auditiv 34
2.1.3. Particularităţi ale organului auditiv 36
2.1.4. Audiţia binaurală şi audiţia inteligentă 38
2.2. Caracteristicile fiziologice ale sunetului 39
2.2.1. Înălţimea sunetului 39
2.2.2. Tăria sunetului 41
2.2.3. Nivelul de tărie datorat mai multor surse sonore 45
2.2.4. Timbrul 47

3. Noţiuni de bază ale stereofoniei 49

3.1. Localizarea auditivă a unei surse sonore 49
3.1.1. Diferenţa de timp 50
3.1.2. Diferenţa de intensitate 51
3.1.3. Diferenţa de componenţă spectrală 55
3.1.4. Perceperea distanţei 56
3.2. Delimitarea scenei sonore şi a imaginii surselor sonore 56
3.3. Principiile stereofoniei 58
3.3.1. Sistemul stereofonic cu două canale 59
3.3.2. Influenţa poziţiei ascultătorului faţă de axa de simetrie a dispozitivului de ascultare 68
3.4. Compatibilitatea sistemelor stereofonice 72
3.4.1. Compatibilitatea teoretică 73
3.4.2. Compatibilitatea practică 74
3.5. Termeni utilizaţi în tehnica stereofonică 75
3.6. Procedeul cuadrofonic de reproducere a sunetului 77

4. Microfoane 81

4.1. Forma şi dimensiunile microfoanelor 81
4.2. Caracteristicile microfoanelor 82
4.3. Clasificarea microfoanelor 85
4.4. Tipuri de microfoane 86
4.4.1. Microfoane electrodinamice cu bobină 86

4.4.2. Microfoane cu bandă 87
4.4.3. Microfoane piezoelectrice 88
4.4.4. Microfoane capacitive 89
4.4.5. Microfoane cu electret 90
4.4.6. Microfoane combinate 93
4.4.7. Microfoane cu reflector 93
4.4.8. Microfoane stereofonice 93
4.4.9. Microfonul cuadrofonic 97

5. Captarea stereofonică a sunetului 99
5.1. Procedee de captare stereofonice pe două canale 99
5.1.1. Procedee bazate pe relaţii de timp şi de intensitate 100
5.1.2. Procedee bazate pe relaţii de intensitate 103
5.1.3. Echivalenţa dintre diferite procedee de captare „de intensitate" 110
5.2. Soluţii practice de captare 112
5.2.1. Procedeul AB apropiat cu cap artificial sau panouri difractante 113
5.2.2. Procedeul XY „stereosonic" 113
5.2.3. Procedeul AB îndepărtat cu corecţie centrală 113
5.3. Exemple de aplicare în practică a procedeelor de captare stereofonică a sunetului 114
5.3.1. Captarea muzicii uşoare şi a jazzului 114
5.3.2. Captarea muzicii populare româneşti 115
5.3.3. Captarea orchestrei simfonice 116
5.3.4. Captarea orchestrei simfonice cu solist 117
5.3.5. Captarea muzicii de operă din studio 119
5.3.6. Captarea muzicii de cameră (şi solo + acompaniament) 122
5.3.7. Captarea teatrului radiofonic din studio 122
5.3.8. Captarea spectacolelor de operă şi de teatru cu public 124

6. Reproducerea stereofonică a sunetului 125
6.1. Reproducerea stereofonică a sunetului cu două canale 125
6.2. Procedee de îmbunătăţire a reproducerii stereofonice prin folosirea unui al treilea canal 133
6.3. Procedeul de reproducere pseudostereofonic 138
6.4. Reproducerea stereofonică a sunetului în spaţii închise 139
6.4.1. Încăperi destinate audiţiilor stereofonice de înaltă calitate 142
6.4.2. Amenajarea încăperilor de locuit pentru audiţia stereofonică 143
6.5. Reproducerea stereofonică în aer liber 147

7. Difuzoare, incinte, căşti 151
7.1. Difuzoare 151
7.1.1. Clasificarea difuzoarelor 152
7.1.2. Tipuri de difuzoare 153
7.1.3. Parametrii difuzoarelor 158
7.1.4. Construcţia difuzorului electrodinamic cu radiaţie directă 159
7.2. Difuzorul — radiator acustic 162
7.3. Sisteme de difuzoare cu filtre de separare 169
7.4. Panouri şi incinte acustice 173
7.4.1. Panouri acustice 174
7.4.2. Incinte acustice 175
7.5. Căşti acustice 186

8. Prelucrarea sunetului stereofonic 189
8.1. Elementele de prelucrarea sunetului specifice instalaţiilor electroacustice stereofonice 189
8.2. Elemente pentru realizarea efectelor sonore 196
8.3. Instalaţie stereofonică de prelucrare a sunetului 199
8.4. Prelucrarea digitală a semnalului de audiofrecvenţă 202

9. Înregistrarea şi redarea stereofonică a sunetului pe banda magnetică 209

9.1. Dezvoltarea înregistrării sunetului pe bandă magnetică 209
9.2. Principiul înregistrării şi redării stereofonice 211
9.3. Procedee de înregistrare şi redare a sunetului pe bandă magnetică 214
9.3.1. Înregistrarea şi redarea monofonică pe bandă magnetică 214
9.3.2. Înregistrarea şi redarea stereofonică pe bandă magnetică 216
9.3.3. Înregistrarea şi redarea cuadrofonică 220
9.4. Elemente componente ale instalaţiilor de înregistrare şi redare pe bandă magnetică 222
9.4.1. Banda magnetică 222
9.4.2. Capete magnetice 224
9.4.3. Mecanismul de antrenare 227
9.5. Înregistrarea magnetică digitală a semnalului audio 229
9.5.1. Probleme de bază ale înregistrării magnetice digitale 229
9.5.2. Tipuri de coduri utilizate la înregistrarea magnetică digitală 231
9.5.3. Formatul datelor pe bandă la înregistrarea magnetică digitală audio . . 232
9.5.4. Corecţia erorilor 233
9.5.5. Formatul DASH pentru înregistrarea şi reproducerea semnalelor audio-digitale 237

10. Înregistrarea şi redarea stereofonică a sunetului pe disc 240

10.1. Dezvoltarea înregistrării sunetului pe disc 240
10.2. Principiul înregistrării şi redării stereofonice pe disc 243
10.3. Metode de înregistrare stereofonică pe disc 246
10.3.1. Compararea metodelor 247
10.3.2. Normări privind sistemul de înregistrare stereofonică pe disc . . . 250
10.4. Înregistrarea şi redarea sunetului cuadrofonic pe disc 251
10.5. Compatibilitatea discurilor stereofonice şi cuadrofonice 253
10.6. Transductoare pentru redarea discurilor stereofonice 254
10.7. Echipamente pentru redarea discurilor 258
10.8. Înregistrarea digitală a semnalului audio pe disc 260

11. Radiodifuzarea şi radiorecepţia programelor stereo 269
11.1. Dezvoltarea radiodifuziunii. 269
11.2. Difuzarea programelor de radio de înaltă calitate în MF 270
11.3. Principiul radiodifuziunii stereo 271
11.3.1. Analiza semnalului multiplex stereo, cu frecvenţă pilot 272
11.3.2. Raportul semnal/zgomot în cazul transmisiilor stereo 275
11.3.3. Radioemiţătorul stereofonic 277
11.4. Radiorecepţia programelor de radio stereofonice 280
11.5. Radioreceptorul stereofonic 282
11.5.1. Probleme de diafonie 283
11.5.2. Decodorul stereo. Principii de funcţionare 287

Bibliografie 291

Introducere: dezvoltarea stereofoniei

Stereofonia, ca ramură nouă a electroacusticii, s-a dezvoltat în special în ultimile două decenii, deși începuturile sale — primele experimentări — au avut loc acum un secol.

Astfel, prima transmisie stereofonică a fost realizată în anul 1881 cu ocazia Expoziției Internaționale de Electricitate. Atunci s-au făcut transmisii de pe scena Operei din Paris, utilizîndu-se un echipament simplu care consta din două microfoane apropiate la distanța de 20 cm, care se ascultau prin două căști într-o încăpere separată.

Deși experiența a fost interesantă, stereofonia nu se putea dezvolta, deoarece mijloacele tehnice de care avea nevoie erau și ele încă la începutul dezvoltării lor.

A urmat o perioadă lungă de perfecționare și îmbunătățire a performanțelor echipamentelor de captare, înregistrare și transmitere a sunetului, pentru a se ajunge la stadiul actual de înaltă fidelitate care înseamnă de fapt reproducerea sunetului cît mai aproape de cel original.

Noțiunea de „înaltă fidelitate“ se referă la relația care se stabilește între ascultător și sunetul originar. Se utilizează și expresia „înaltă calitate“, care poate produce confuzii cu cea de „înaltă fidelitate“, deoarece „calitatea“ este discutată în context muzical: vocile și instrumentele au anumite calități date de caracteristicile lor tonale sau de timbru. Ascultătorul distinge între ele aceste calități apreciind că o orchestră (sau instrument) produce o calitate mai bună a sunetului decît alta.

Deci nu trebuie să se facă vreo confuzie în legătură cu reproducerea sunetului cu un grad ridicat de „fidelitate“. Scopul este de a păstra calitatea sunetului originar (oricare ar fi ea) și sistemul ideal de reproducere va fi „transparent“, astfel ca aceste caracteristici să ajungă la ascultător neafectate. Condiția ce se impune echipamentului audio de a avea o *lărgime de bandă* sau un *răspuns* corespunzător gamei auzului uman este doar una din calitățile care se impun. Idealul este rareori atins în orice domeniu și ar fi pripit să presupunem că un sistem de reproducere a sunetului ideal este acum ușor de obținut. Totuși s-a lucrat mult în această direcție și au fost obținute unele progrese remarcabile.

În particular, introducerea stereofoniei pe scară largă a dat posibilitatea unui număr mult mai mare de ascultători de a se bucura de un standard mai înalt de fidelitate față de cît era anterior posibil în condițiile de acasă. Pentru aceasta standardele de fidelitate au fost și sînt încontinuu crescute. Există desigur și excepții, ca de exemplu anumite tipuri de difuzoare care s-au modificat foarte puțin de-a lungul anilor.

Şi în ţara noastră au existat preocupări multiple pe linia perfecţionării tehnicii sunetului şi a transmisiilor stereofonice. Pe această linie un colectiv de la catedra de radiotehnică de la Institutul Politehnic Bucureşti, în frunte cu profesorul Gh. Cartianu, în anii 1955—1956 s-a ocupat cu mult suflet de introducerea radiodifuziunii în unde ultrascurte, realizînd primul emiţător de radiodifuziune în banda UUS, care emitea două ore pe zi programul Radiotelevizi unii Române, iar la cercurile ştiinţifice studenţeşti, în anul 1956, s-a realizat primul radioreceptor pentru banda UUS.

Pe aceeaşi linie un colectiv de ingineri de la Radioteleviziunea Română s-a ocupat în anii 1960—1961 de studii şi experimentări în domeniul captării şi înregistrării sunetului stereofonic, prezentînd concluziile şi realizările din acest domeniu în cadrul Organizaţiei Internaţionale de Radio şi Televiziune (O.I.R.T.). Studiile şi cercetările au continuat la Radioteleviziunea Română, Ministerul Poştelor şi Telecomunicaţiilor şi Electrecord, iar în anul 1971 s-a trecut şi la difuzarea experimentală a două ore de program stereofonic pe săptămînă, folosind pentru difuzarea canalului stîng un emiţător de radio în banda UUS şi pentru canalul drept un emiţător de sunet pentru televiziune, ascultătorul putînd recepţiona programul stereo cu un receptor de radio cu banda UUS pentru a asculta canalul stînga şi un televizor (canalul de sunet) pentru canalul dreapta. După doi ani de experimentări, în anul 1973 s-a trecut la difuzarea programelor stereofonice în mod normal, realizîndu-se emiţătoare de radio şi radioreceptoare stereofonice româneşti.

În aceeaşi perioadă, în ţara noastră, începînd din anul 1966, au început să se realizeze discuri stereo, iar din anul 1973 discuri stereo compatibile.

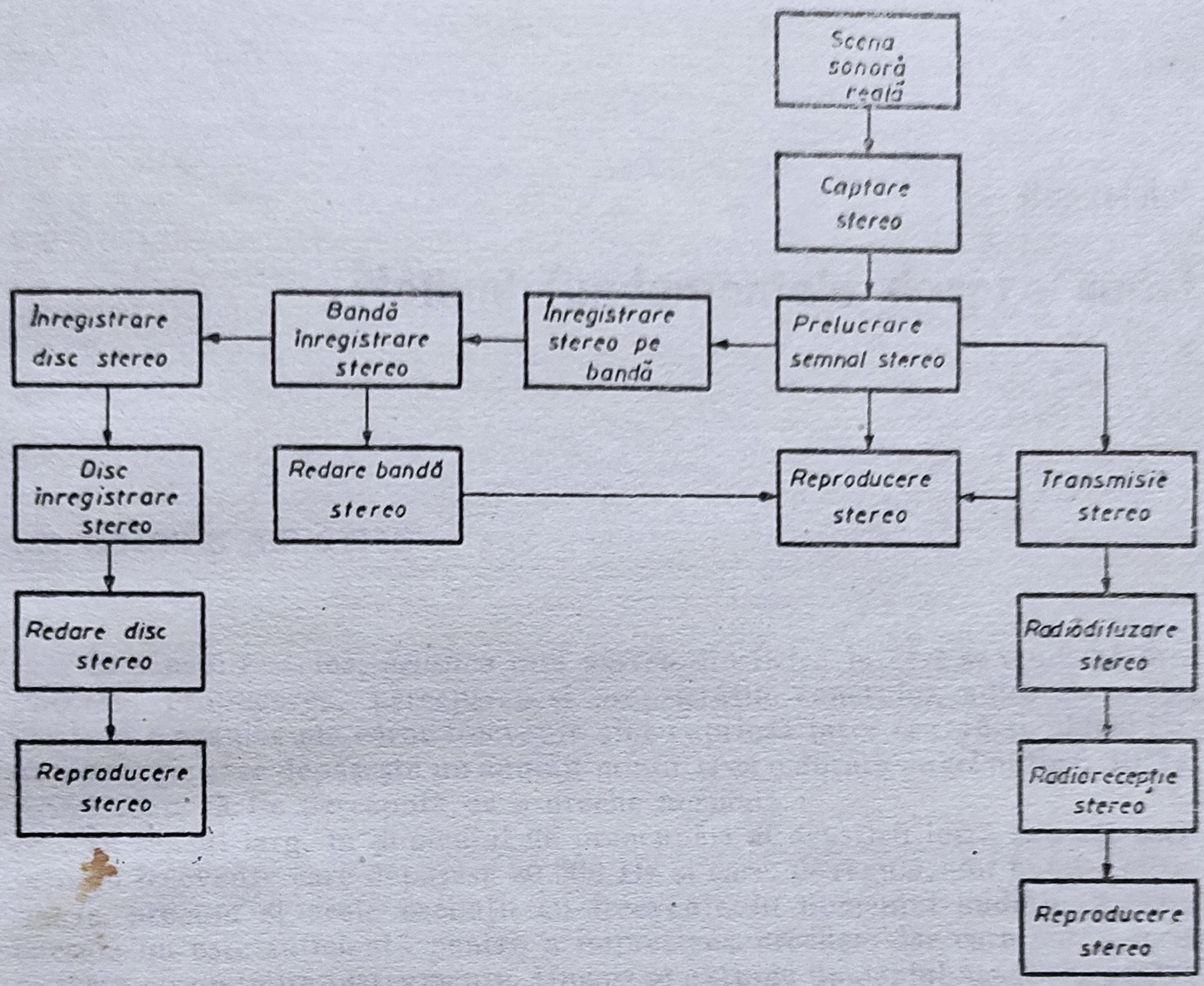
De la prima transmisie stereofonică pînă în prezent, dar mai ales în ultimii 15—20 ani, stereofonia a luat o mare dezvoltare prin stabilirea unor procedee ştiinţifice de captare, înregistrare şi reproducere stereofonică, prin elaborarea unor metode corespunzătoare de radiodifuzare stereofonică a programelor muzicale şi vorbite.

Pentru explicarea stereofoniei s-au emis diferite teorii bazate pe anumite ipoteze privind mecanismul fiziologic de transmitere a excitaţiei sonore la creier. Întrucît acest mecanism nu este încă nici astăzi perfect cunoscut ci se bazează pe anumite ipoteze mai mult sau mai puţin validate de practică, există în continuare anumite controverse în explicarea modului cum se formează imaginea sonoră în audiţia stereofonică. S-au emis mai multe teorii care ar putea explica audiţia stereofonică : unele admiţînd comportări diferite ale urechii faţă de componentele spectrului sonor, altele faţă de repartiţia spectrală şi temporală a energiei, în timp ce altele admit unele particularităţi intrinseci ale propagării frontului de undă etc.

O ipoteză mai nouă încearcă să înlăture inadvertenţele cauzate de felul diferit de comportare a urechii la decalajul temporal şi la raportul intensităţilor pe parcursul întregului spectru sonor, admiţînd că urechea se comportă ca un detector sensibil numai la repartiţia spectrală şi la repartiţia temporală a energiei.

Această ipoteză explică faptul că urechea este capabilă să recunoască uşor înălţimea şi timbrul unui sunet ca şi momentele de apariţie şi de asociere determinate de sunete elementare, dar că este insensibilă la faza presiunii acustice.

Pe baza cunoştinţelor şi experimentărilor care s-au făcut în domeniul stereofoniei s-au dezvoltat toate domeniile de bază ale tehnicii stereofonice.



Schema procesului tehnologic adoptat pentru reproducerea stereofonică a sunetului este arătată în figura alăturată și se compune din: captare, reproducere, prelucrare, înregistrare pe bandă, înregistrare pe disc, redare de pe bandă, redare de pe disc, transmisie, difuzare și recepție, care vor fi studiate în capitolele acestei lucrări.

Capitolul 1

Noțiuni fundamentale despre sunet

1.1. UNDELE ACUSTICE

În sensul restrîns, *acustica* este partea din fizică în care se studiază producerea, propagarea, perceperea și proprietățile sunetului, adică ale acelor oscilații mecanice ale căror frecvențe sînt cuprinse între cca. 16 și 20 000 Hz, cu o energie care depășește un anumit minim și cu o durată de cel puțin $6 \cdot 10^{-2}$ s, astfel încît să fie percepute de o ureche normală.

În sensul larg, în domeniul de preocupări al acusticii intră și acele oscilații cu frecvențe care depășesc 20 000 Hz și care, de regulă, sînt numite *ultrasunete*, precum și acele oscilații cu frecvențe în domeniul audibil, a căror energie nu este suficientă pentru a impresiona urechea, dar care pot fi înregistrate cu anumite instrumente. Uneori se extinde domeniul acusticii, pentru a cuprinde și oscilațiile cu frecvențe mai joase de 16 Hz, numite în acest caz *infrasunete*, și care sînt generate de trepidații.

Corpul care vibrează, radiind energie acustică în mediul elastic înconjurător, se numește *sursă acustică*.

Atunci cînd într-un mediu material se produce o oscilație, perturbația este imprimată din aproape în aproape particulelor mediului înconjurător, schimbînd starea de echilibru a acestora. Aceste particule se opun mișcării, dar sînt silite să cedeze presiunii create de corpul care oscilează și să se îndepărteze de la poziția de echilibru, executînd la rîndul lor o mișcare oscilatorie în jurul acestei poziții. Amplitudinea și frecvența oscilațiilor sînt egale cu cele ale oscilației corpului. Datorită proprietăților elastice ale aerului, mișcarea particulelor nu se localizează numai în jurul corpului care oscilează, ci se transmite din aproape în aproape.

Transmiterea din aproape în aproape a unei perturbații care intervine în starea de echilibru a particulelor unui mediu, se numește *propagare*.

Propagarea nu implică transport de substanță (deplasarea particulelor), ci numai transfer de energie. Propagarea are loc numai într-un mediu material; în vid nu este posibilă.

A. Unde acustice

Un corp care vibrează într-un mediu elastic produce o serie de comprimări și dilatări succesive ale particulelor mediului, care se transmit din aproape în aproape.

Unda acustică este forma sub care o vibrație (oscilație) se propagă într-un mediu elastic.

Cîmpul acustic poate fi definit ca regiunea unui mediu elastic care se găseşte în stare de vibraţie şi în care există unde acustice.

Particulele mediului nu se deplasează o dată cu unda elastică, ci efectuează o mişcare alternativă de o parte şi de alta a poziţiei de echilibru, deci mediul nu face decît să înlesnească transferul mişcării.

Dacă transferul de energie are loc printr-o variaţie de presiune se spune că iau naştere unde de presiune. Cînd deplasarea locală a particulelor are loc în direcţia de propagare, iau naştere unde *longitudinale* iar cînd direcţia de oscilaţie este perpendiculară pe direcţia de propagare, undele sînt denumite unde *transversale*. În medii gazoase şi lichide sunetul se propagă numai prin unde longitudinale, iar undele transversale se produc de preferinţă în corpuri solide.

Suprafaţa de undă este definită ca locul geometric al punctelor care, la un moment dat, au aceeaşi fază de oscilaţie. Suprafaţa de undă cea mai depărtată de unda care produce oscilaţia este denumită *front de undă*.

În cazul unei perturbaţii produse de un punct material (sursă punctuală) fronturile de undă sînt suprafeţe sferice avînd centrul într-un punct care coincide cu sursa. Acestea sînt unde *sferice*.

La o depărtare suficient de mare de sursă, frontul de undă poate fi confundat cu planul tangent la sferă ; în acest caz se obţin unde *plane*.

Raza acustică reprezintă direcţia de propagare a undei şi este normală pe frontul de undă corespunzător.

B. Viteza de propagare. Perioada. Frecvenţa

Viteza sunetului este viteza de propagare a undei acustice într-un mediu. Ea este constantă şi depinde de proprietăţile mediului, notîndu-se cu litera c.

Distanţa, în direcţia propagării, între două puncte succesive ale unei unde periodice de frecvenţă dată, între care faza vibraţiei diferă cu 2π radiani, se numeşte *lungime de undă* şi se notează cu λ.

Între lungimea de undă λ şi viteza de propagare a sunetului c există relaţia :

$$\lambda = cT \qquad (1.1)$$

În această relaţie s-a notat cu T *perioada*, care reprezintă timpul necesar ca o particulă a mediului, pusă în vibraţie, să treacă, faţă de poziţia repaus, prin două maxime (sau minime) succesive de acelaşi sens.

Inversul perioadei reprezintă *frecvenţa* mişcării (notată cu f), adică numărul de oscilaţii complete executate în unitatea de timp, şi se exprimă în herţi. Dacă în relaţia (1.1) se ţine seama că frecvenţa este inversul perioadei, se deduce că :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

a) *Viteza de propagare a undelor acustice în medii gazoase*

În mediile gazoase viteza de propagare a undelor acustice se exprimă prin relaţia :

$$c = \sqrt{\varkappa \frac{p_0}{\rho_0}} \quad [\mathrm{ms}^{-1}] \qquad (1.2)$$

în care : p_0 este presiunea gazului în stare de echilibru (în Nm^{-2}), ρ_0 masa specifică a gazului (în $\mathrm{kg/m}^{-3}$), $\varkappa$ raportul căldurilor specifice, care în cazul gazelor biatomice (oxigen, azot, aer) este egal cu 1,4.

În aer, la temperatură de 22°C și la presiunea atmosferică normală, viteza sunetului este :

$$c = 344{,}8 \text{ ms}^{-1}$$

La alte temperaturi ale aerului viteza de propagare h sunetului c variază după legea :

$$c = 331{,}4 + 0{,}607\,\theta \quad [\text{ms}^{-1}] \tag{1.3}$$

în care θ reprezintă temperatura ambiantă, exprimată în grade Celsius.

În hidrogen sunetul se propagă cu viteza de 1270 ms^{-1} față de 317 ms^{-1} în oxigen și de 405 ms^{-1} în abur.

b) *Viteza de propagare a undelor acustice în medii lichide*

În mediile lichide, sunetul se propagă cu viteze care depind de compresibilitatea și densitatea mediului respectiv. În apa de mare viteza de propagare a sunetului este de 1540 ms^{-1}, față de 1441 ms^{-1} cît este în apa dulce.

c) *Viteza de propagare a undelor acustice în medii solide*

În mediile solide, sunetul se propagă atît sub formă de unde longitudinale (ca la gaze și lichide) cît și sub formă de unde transversale.

Viteza de propagare a undelor longitudinale este dată de relația

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad [\text{ms}^{-1}] \tag{1.4}$$

în care E este modulul de elasticitate al mediului (în Nm^{-2}) ; ρ — masa specifică a mediului, în kgm^{-3}.

Valorile lui c pentru materialele utilizate în mod curent în aplicațiile tehnice sînt calculate și date în diferite tabele.

1.2. CÎMPUL SONOR

Regiunea din spațiu în care se propagă sunete se numește *cîmp sonor* (sau acustic) iar corpul care prin vibrații dă naștere la sunet se numește *sursă sonoră.*

Să presupunem că undele sonore se propagă printr-un fluid. În fiecare punct din masa fluidului, în prezența undelor sonore, poate fi definită o mărime numită *presiune acustică* (sau presiune sonoră) p_s, egală, în fiecare moment, cu diferența dintre valoarea presiunii în acel punct și valoarea presiunii în lipsa undelor sonore. Presiunea acustică corespunde condensărilor și destinderilor periodice din jurul punctului respectiv, datorită deplasării particulelor mediului.

Se numește *energie sonoră* (sau energie acustică) W, într-o porțiune a unui cîmp sonor, energia conținută în aceea porțiune a cîmpului sonor datorită prezenței undelor sonore. Energia acustică care străbate o arie A în unitatea de timp se numește *flux de energie sonoră*, flux de energie acustică sau *putere acustică*

$$P = \frac{W}{t} \tag{1.5}$$

Fluxul de energie acustică se exprimă în wați în sistemele SI și MKS. Pentru diferite surse sonore întîlnite în practică valorile puterii acustice exprimate în wați sînt indicate în tabelul 1.1.

Din examinarea valorilor cuprinse în acest tabel se constată că puterea acustică corespunzătoare vocii omeneşti este foarte redusă. Pentru a se putea obţine o putere de 1 CP (736 W) trebuie să vorbească în acelaşi timp şi în acelaşi loc circa 15 000 000 de persoane. Dacă puterea acustică redusă a vocii omeneşti este radiată într-un spaţiu mare al unei săli, este uşor de înţeles că intensitatea sunetului este destul de mică, aşa încît un zgomot perturbator produs de un ventilator, de tîrşîitul picioarelor, de scîrţîitul scaunelor etc., poate să mascheze vorbirea actorului sau a conferenţiarului. De aceea, în săli mari se impune existenţa unui sistem de amplificare.

Tabelul 1.1

Sursă sonoră	Puterea acustică [W]	Banda de frecvenţă [Hz]
Voce normală	$(25\ldots50)\times10^{-6}$	100 ÷ 8 000
Voce puternică	1×10^{-3}	100 ÷ 8 000
Clarinet	0,05	140 ÷ 10 000
Flaut	0,06	250 ÷ 9 000
Violoncel	0,16	70 ÷ 8 000
Trompetă	0,30	160 ÷ 9 500
Pian	0,3—0,4	70 ÷ 6 500
Orgă	13	30 ÷ 9 000
Orchestră mare (75 pers.)	50—70	35 ÷ 14 000

Partea cea mai mare a energiei sonore radiate de o sursă sonoră este cuprinsă într-o anumită porţiune din banda de frecvenţă proprie acelei surse. De exemplu, vocea omenească este cuprinsă între 100 şi 8000 Hz, însă porţiunea din bande de frecvenţe în care este radiată 95% din energia totală se situează sub 1 000 Hz şi cea mai mare parte a energiei vorbirii se găseşte concentrată în jurul frecvenţei de 500 Hz (vezi fig. 1.1).

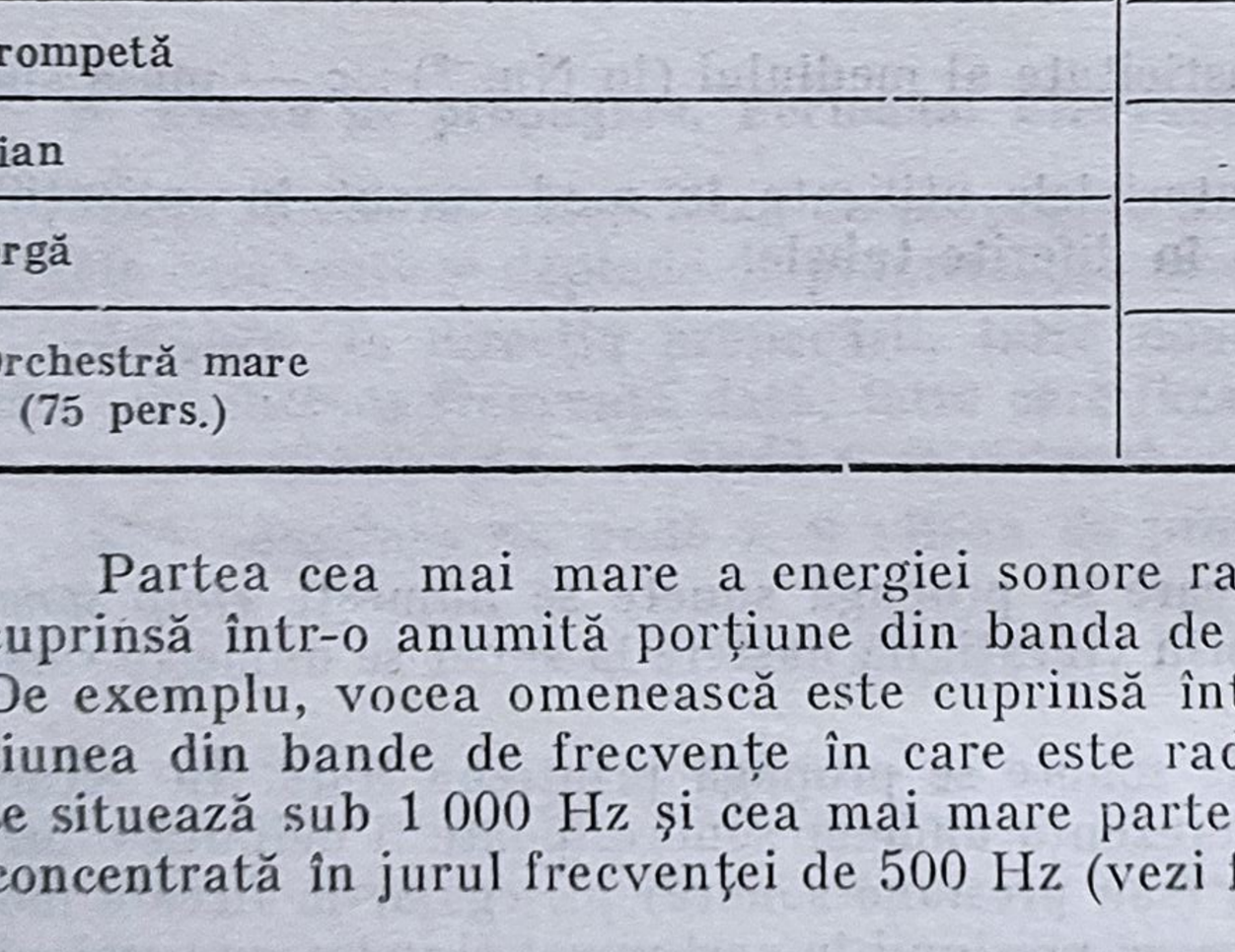


Fig. 1.1. Caracteristica de frecvenţă a vocii omeneşti medii.

Fluxul de energie sonoră care străbate unitatea de arie așezată perpendicular pe direcția de propagare a undelor sonore se numește *densitate de flux de energie sonoră*, *intensitate sonoră* sau *intensitate acustică*, deci (A fiind aria străbătută):

$$I = \frac{P}{A} \quad [\mathrm{W/m^2}] \tag{1.6}$$

În propagare, undele sonore suferă, adesea, absorbție. În cazul undelor plane, variația intensității cu distanța parcursă rezultă din relația

$$I = I_0 e^{-f^2 a x} \tag{1.7}$$

f fiind frecvența și a un coeficient independent de frecvență.

Sursa de sunete nu este niciodată un punct. De aceea, niciodată repartiția energiei, deci a intensității sonore, în spațiu nu are în practică o simetrie sferică. Prin urmare, în privința formei cîmpului sonor, de exemplu a repartiției energiei, determinant este raportul dintre dimensiunile sursei și lungimea de undă corespunzătoare undelor emise, precum și forma sursei.

Să considerăm o sursă de la care pornesc undele plane, realizată printr-un piston în mișcare rapidă de du-te-vino, deci o placă vibratorie circulară. Dacă dimensiunile plăcii sînt mici în raport cu lungimea de undă, placa poate fi considerată ca sursă punctiformă. Aceasta se petrece pentru emițătoare de putere mică și pentru sunete cu frecvență joasă. Spațiul în care se propagă undele sonore e cuprins într-un unghi spațial de 180°, iar undele sonore sînt emisferice. Cînd însă diametrul sursei e mare în raport cu lungimea de undă, există o direcție în care undele provenite de la două puncte distincte ale plăcii, S_1 și S_2, surse punctifiorme depărtate între ele cu o jumătate de diametru, sînt în opoziție de fază și își anulează efectul. Fie α unghiul format de o asemenea direcție cu plauul sursei (fig. 1.2). Fie C proiecția lui S_2 pe direcția de unghi α care trece prin S_1. Dacă $S_1C = \frac{\lambda}{2}$, cele două oscilații pornite din S_1 și S_2, interferînd, dau amplitudine rezultantă nulă. Aceasta se petrece pentru unghiul α_0 și pentru sunetele cu lungimi de undă λ pentru care:

$$\sin \alpha_0 = \frac{S_1C}{S_1S_2}$$

sau

$$\sin \alpha_0 = \frac{\frac{\lambda}{2}}{\frac{d}{2}} = \frac{\lambda}{d}$$

Un rezultat asemănător se obține și pentru alte unghiuri α_k pentru care:

$$\sin \alpha_k = \frac{(2k+1)\frac{\lambda}{2}}{\frac{d}{2}} = (2k+1)\frac{\lambda}{d} \tag{1.8}$$

k fiind un număr întreg oarecare. Cum putem grupa sursele punctiforme care alcătuiesc sursa în perechi depărtate între ele prin $\frac{d}{2}$, așa cum sînt în figura 1.2 S_3 și S_4, reiese că rezultatul dat de (1.8) se aplică întregii surse. Dacă

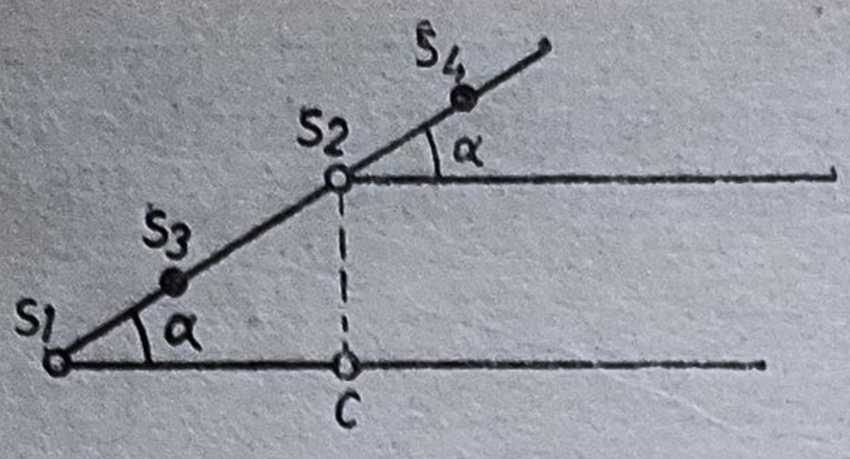


Fig. 1.2.

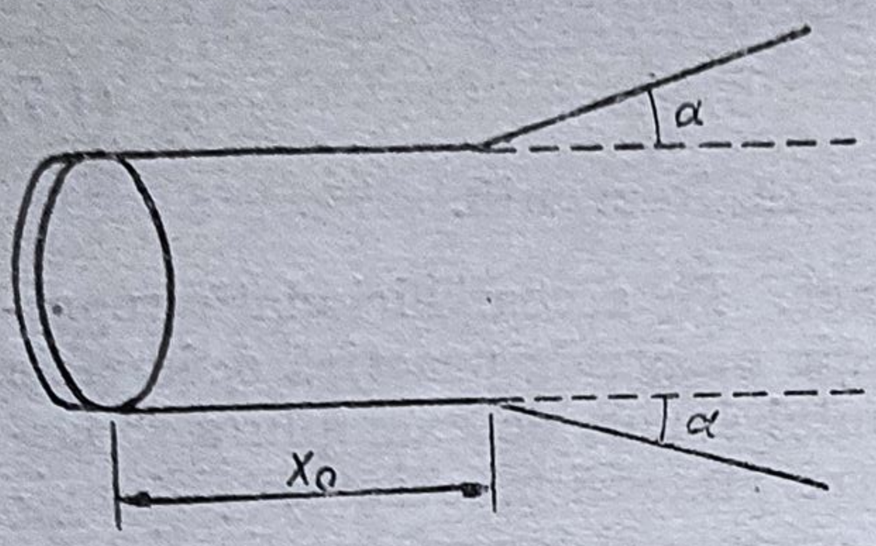


Fig. 1.4.

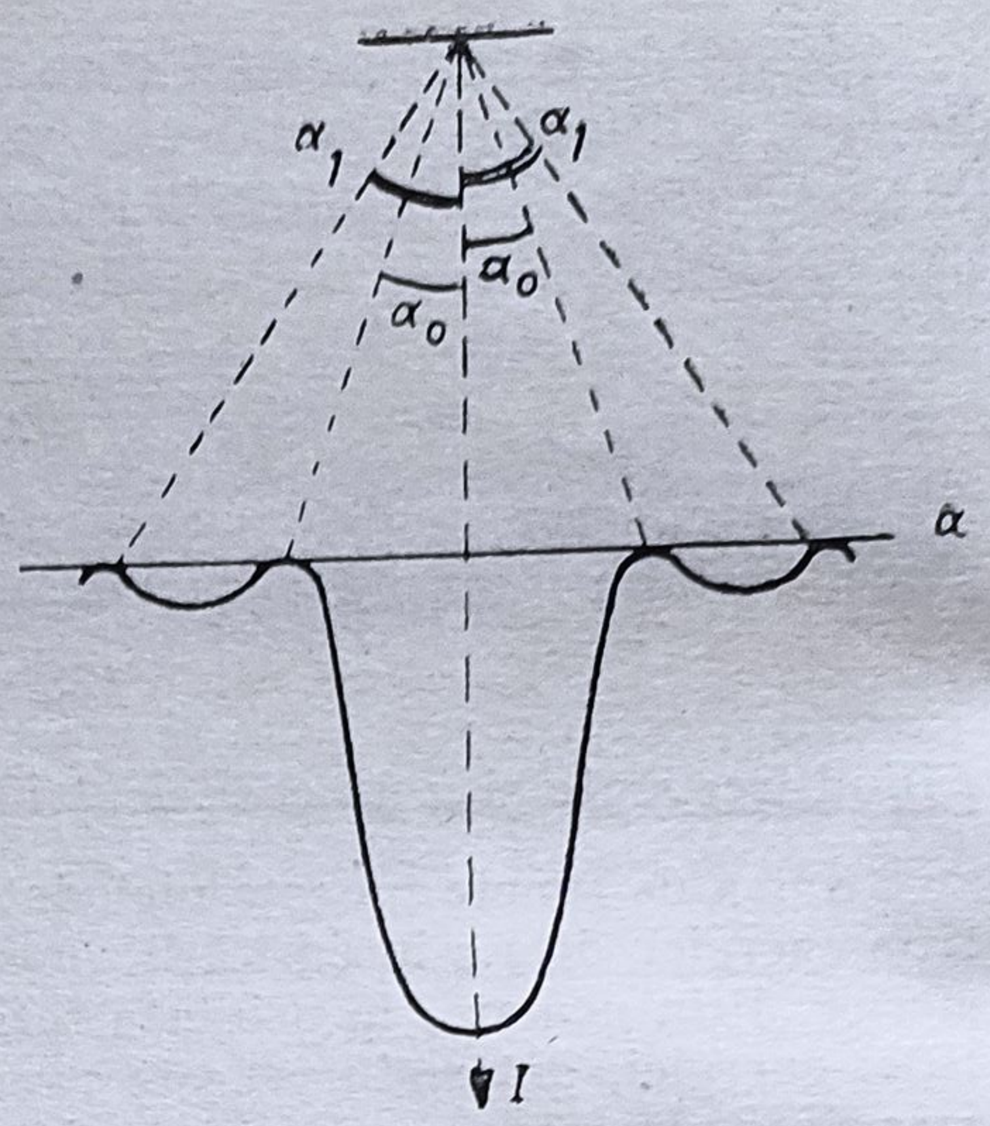


Fig. 1.3.

reprezentăm intensitatea în ordonatele unui reper ortogonal și unghiurile α în abscise, obținem o curbă de repartiție a intensității ca în fig. 1.3, unde α_0 este unghiul dat de (1.8) pentru $k = 0$, α_1 unghiul pentru $k = 1$ etc.

O teorie mai completă a fenomenului arată că 90% din energia oscilațiilor este concentrată într-un con cu unghi la vîrf α dat de

$$\sin \alpha = 1{,}22 \frac{\lambda}{d} \tag{1.9}$$

Directivitatea emisiunii e cu atît mai bună cu cît raportul $\frac{d}{\lambda}$ este mai mare, căci în acest caz α din (1.9) este mai mic. Pentru $\frac{d}{\lambda}$ mare, undele se apropie din ce în ce mai mult de unde plane dirijate perpendicular pe suprafața sursei, conținute în interiorul unui cîmp sonor cilindric, care mai departe se lărgește din cauza fenomenelor de difracție (fig. 1.4). Distanța x_0 pînă la care cîmpul este cilindric este dată de relația :

$$x_0 = \frac{d^2 - \lambda^2}{4\lambda}$$

iar unghiul α care măsoară divergența cîmpului este dat de relația (1.9). De fapt, datorită fenomenelor de interferență, energia, deci intensitatea acustică, nu este uniform repartizată în cîmpul sonor, mai ales în vecinătatea sursei, pînă la distanța x_0, dincolo de care aceste fenomene dispar cu încetul. Fenomenele de interferență între undele emise de diferite surse punctiforme în care putem descompune sursa S produc zone cu intensitate acustică maximă și zone cu intensitate acustică mult mai mică. Forma acestor zone depinde în primul rînd, de forma sursei. În cazul unui emițător cu suprafața plană și circulară, punctele de pe normala în centrul suprafeței, în care rezultă

intensitatea minimă, respectiv maximă, sînt situate, faţă de suprafaţă, la distanţele :

$$x_{min} = \frac{r^2 - k^2\lambda^2}{2k\lambda}, \quad k = 1, 2, 3,,\ldots.$$

$$x_{max} = \frac{4r^2 - \lambda^2(k+1)}{4\lambda(2k+1)}, \quad k = 0, 1, 2, \ldots$$

r fiind raza feţei sursei. Pentru $k = 0$ se obţine $x_{max} = x_0$, deci ultimul maxim se găseşte în locul în care cîmpul începe să fie divergent.

În concluzie, o sursă sonoră poate să radieze energie în toate direcţiile sau numai într-o anumită direcţie, în funcţie de proprietăţile de directivitate ale sursei.

Unele surse sînt nedirective, sunetele fiind radiate în mod egal în toate direcţiile. O asemenea sursă se mai numeşte şi *radiator sferic*, iar pentru simplificarea problemelor, în practică se consideră acest radiator sferic redus la un punct, denumit *sursă punctiformă*.

Majoritatea surselor sonore radiază însă mai multă energie sonoră într-o direcţie decît în celelalte direcţii, constituind astfel surse sonore directive. Pentru a fi pusă în evidenţă caracteristica de directivitate a sursei se întocmeşte un grafic, care poartă denumirea de *diagramă de directivitate* şi, întrucît pentru trasarea ei se foloseşte un sistem de coordonate polare, se mai numeşte şi *diagramă polară* sau mai simplu *polara sursei* (de exemplu polara unui difuzor). Într-un plan se trasează o serie de raze, care reprezintă direcţiile de radiaţie ale sursei, şi pe ele se marchează la scară atenuările de nivel ale sunetului emis, în raport cu direcţia prioritară (în decibeli — vezi fig. 1.5).

Pentru a obţine o imagine clară a directivităţii în spaţiu a unei surse sonore este necesar să fie trasate două diagrame polare, una în planul orizontal al sursei şi a doua în planul vertical.

Deoarece caracteristica de directivitate a unei surse variază o dată cu frecvenţa sunetului emis, este util ca aceste curbe de directivitate să fie trasate pentru mai multe frecvenţe din banda sunetelor audibile şi în special în spectrul în care sursa radiază energia cea mai mare.

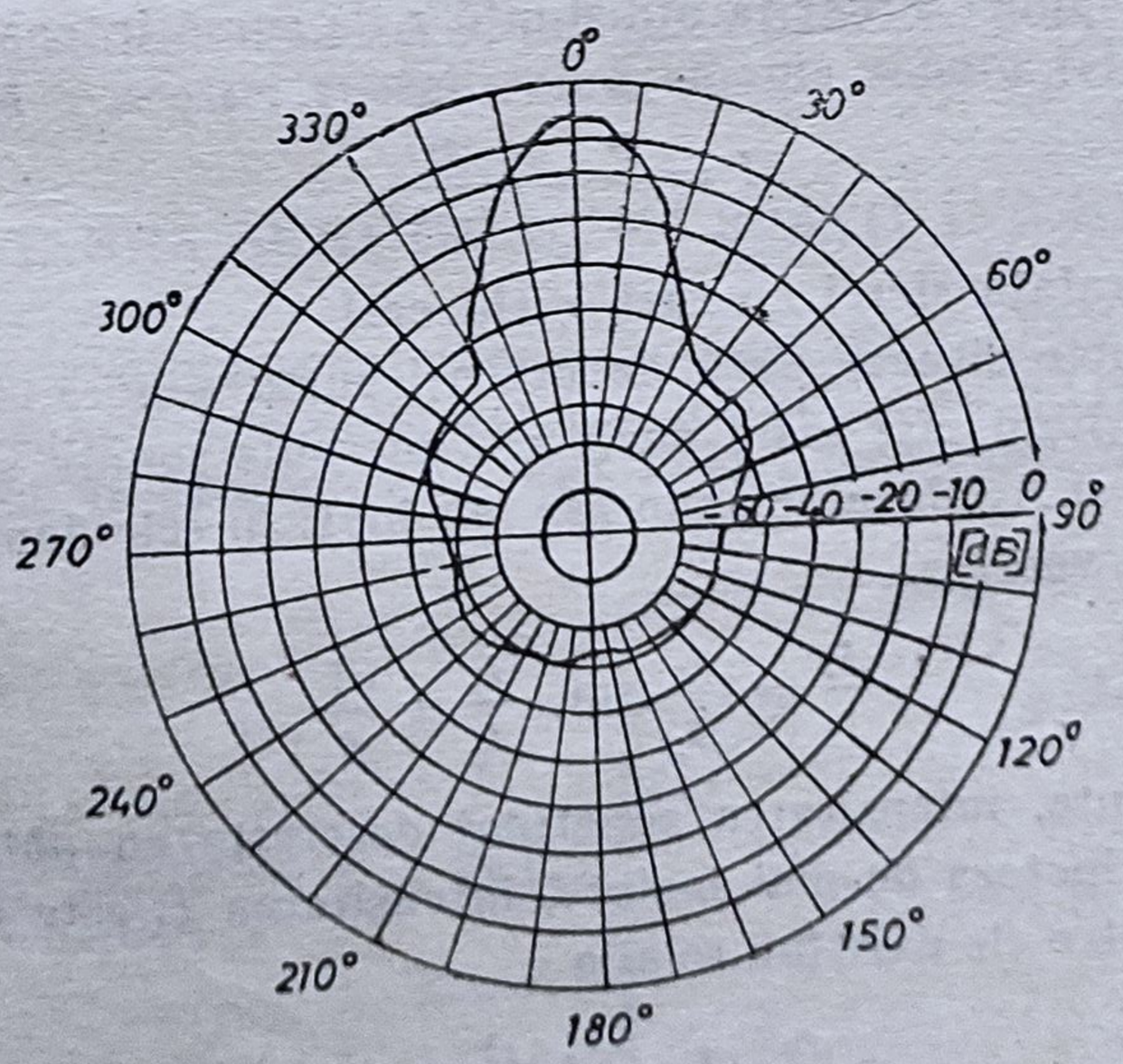


Fig. 1.5. Caracteristică de directivitate.

În general, directivitatea unei surse crește cu frecvența, cu alte cuvinte unghiul de radiație se îngustează cu atît mai mult cu cît frecvența sunetului radiat este mai mare.

Pentru o anumită diagramă, drept axă de referință a unghiurilor se ia direcția în care sursa radiază energia maximă ; raza de zero grade a diagramei polare reprezintă deci direcția de energie maximă radiată și pe măsură ce crește unghiul făcut de direcția de radiație cu axa de referință, energia scade. Această caracteristică are o importanță deosebită în instalațiile de amplificare și distribuire a sunetului. De exemplu, gura omului, care constituie o sursă directivă, trebuie să debiteze energie maximă spre microfon și orice rotire a capului face ca nivelul sonor în dreptul microfonului să scadă. De asemenea, la amplasarea și la dirijarea microfoanalor la captare și a difuzoarelor la reproducere trebuie să se țină seama de caracteristicile de directivitate ale acestora.

1.3. PROPAGAREA SUNETULUI ÎN CONDIȚII SPECIFICE

1.3.1. PROPAGAREA SUNETULUI ÎN AER LIBER

Sunetul radiat de o sursă sonoră se propagă în spațiu sub forma unor unde sonore ; similar cu undele de la suprafața apei, care iau forma unor cercuri cu centrul în punctul de oscilație și cu razele din ce în ce mai mari, undele sonore iau forma unor sfere, avînd în centru sursa care le produce. Aceste sfere se măresc din ce în ce mai mult și, cum undele sonore transportă o anumită energie, este ușor de observat că această energie se repartizează pe o suprafață din ce în ce mai mare.

Datorită acestui fapt, cu cît crește distanța față de sursă, sunetul își pierde din intensitate și, la o anumită distanță de sursă, el nu se mai aude.

Dacă o sursă sonoră are o putere acustică P și radiază uniform în toate direcțiile, într-un punct situat la o distanță r de sursă intensitatea sunetului va fi :

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \tag{1.10}$$

unde A este suprafața sferei cu raza r (în cm).

În două puncte situate, față de aceeași sursă sonoră, la distanțele r_1 și r_2 (distanța r_2 fiind mai mare decît r_1), energiile sonore se vor repartiza pe suprafețele A_1 și A_2 ale sferelor în așa fel, încît în cele două puncte intensitățile sunetului vor fi :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_2}{A_1} \text{ sau } \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

Cu alte cuvinte, intensitatea sunetului descrește cu pătratul distanței față de sursă. În ipoteza de mai înainte, intensitatea I_2 este mai mică decît intensitatea I_1, între ele existînd relația :

$$I_2 = I_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \tag{1.11}$$

În realitate descreșterea intensității sunetului este mai pronunțată decît o indică relația (1.11), aceasta datorită absorbției aerului, care este condiționată și de starea higrometrică. Atenuarea este cu atît mai mare cu cît frecvența sunetului este mai mare, manifestîndu-se mai pronunțat în cazul sunetelor cu frecvențe mai mari de 3 000 Hz.

În cele arătate mai înainte am presupus că mediul în care se propagă undele sonore este imobil. În foarte multe cazuri însă aerul este în mișcare, intervenind adesea curenți de aer, care în raport cu viteza, cu direcția și sensul deplasării favorizează sau împiedică propagarea sunetului.

Un vînt lateral duce în mod evident sunetul în altă direcție decît cea prevăzută. Cum în special la suprafața solului vîntul are atît intensitatea cît și direcția variabile în mod aleator sunetul care provine de la o sursă sonoră mai îndepărtată uneori se intensifică, alteori se atenuează, lăsînd impresia că intensitatea sunetului debitat de sursa sonoră variază.

Datorită influenței agenților atmosferici asupra propagării sunetului, se consideră că distanța maximă la care se mai poate asigura în aer liber o audiție a sunetelor emise de un difuzor este de 150 m.

Dacă în calea undelor se interpune un obstacol, acesta în general este ocolit de undele sonore, fenomenul purtînd denumirea de *difracția sunetului*. Acest fenomen este cu atît mai evident cu cît dimensiunile obstacolului sînt mai mici, în comparație cu lungimea de undă a sunetului. Dacă însă obiectul interpus în calea undelor sonore are dimensiuni mari, undele sonore sînt reflectate de acest obstacol întorcîndu-se spre sursă. În acest caz, o parte din energia sonoră incidentă se reflectă constituind energia undelor reflectante. O altă parte din energia incidentă pătrunde în corpul care constitue obstacolul

Se constată că mărimea energiei reflectate depinde de natura suprafeței de separare a mediilor pe care se produce reflexia. De exemplu, dacă obstacolul plasat în calea undelor sonore este un perete de beton lustruit, aproape întreaga energie sonoră incidentă este reflectată.

Cu totul altfel se prezintă situația dacă suprafața peretelui este acoperită cu un strat de material absorbant, ca de exemplu pîsla sau vata minerală. În acest caz o parte din energia sonoră incidentă este absorbită. În funcție de calitatea și cantitatea materialului absorbant se poate ajunge pînă la absorbția totală a acestei energii, cînd energia sonoră reflectată este nulă.

1.3.2. PROPAGAREA SUNETULUI ÎN SPAȚII ÎNCHISE

Într-o încăpere undele produse de o sursă din interior se reflectă atunci cînd întîlnesc suprafețele delimitatoare (pereții, tavanul, pardoseala) întorcîndu-se din nou în încăpere (fig. 1.6). Pentru un ascultător prezent într-o în-

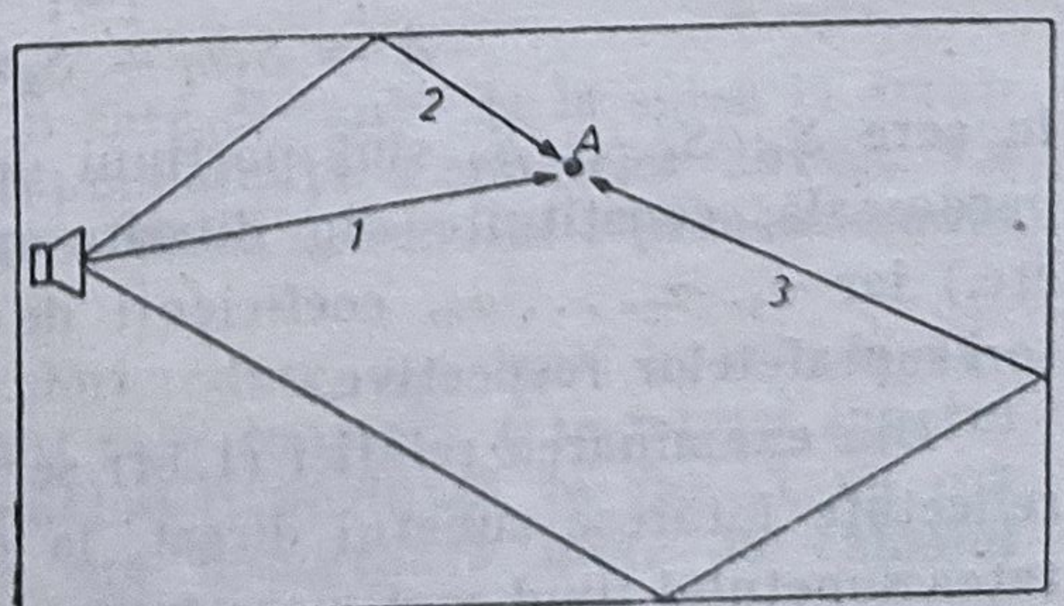


Fig. 1.6. Propagarea sunetelor într-o încăpere: *1* — unda directă; *2*, *3* — unde reflectate.

căpere întreaga energie sonoră care nu se întoarce în încăpere se consideră absorbită de suprafeţele care delimitează încăperea. Se ajunge astfel la definirea *coeficientului de absorbţie sonoră* (α), care este raportul dintre energia sonoră absorbită de o suprafaţă şi energia sonoră incidentă pe acea suprafaţă.

Absorbţia energiei sonore se datoreşte, pe de o parte, disipaţiei de energie în materialul din care este construită suprafaţa unui perete, tavan sau pardoseală (tencuială, draperii, covoare etc.) şi pe de altă parte transmisiei energiei prin ecrane despărţitoare (pereţi, planşee). Pentru a se caracteriza gradul de disipaţie a energiei sonore şi gradul de transmisie sonoră s-au definit doi coeficienţi şi anume : *coeficientul de disipaţie sonoră* (δ), care este raportul dintre energia sonoră disipată în material şi energia sonoră incidentă pe suprafaţa materialului respectiv, şi *coeficientul de transmisie sonoră* (τ) care este raportul dintre energia sonoră transmisă printr-un ecran despărţitor şi energia sonoră incidentă pe suprafaţa ecranului despărţitor.

Faţă de cele arătate, între aceşti doi coeficienţi şi coeficientul de absorbţie sonoră există relaţia :

$$\alpha = \delta + \tau \tag{1.1.2}$$

Întreaga energie sonoră care nu este absorbită se reflectă, lucru exprimat prin *coeficientul de reflexie* (ρ) definit ca raportul dintre energia sonoră reflectată şi energia sonoră incidentă.

Între coeficientul de absorbţie sonoră şi coeficientul de reflexie există relaţia .

$$\alpha + \rho = 1 \tag{1.13}$$

Ca urmare un ascultător plasat în interiorul unei încăperi aude atît sunetul direct provenit de la sursa sonoră, cît şi o sumă de sunete reflectate, provenite prin reflexie pe pereţi, tavan şi pardoseală. Datorită faptului că la fiecare reflexie aceste suprafeţe absorb o anumită cantitate de energie sonoră, valoarea intensităţii sunetului reflectat depinde nu numai de puterea acustică a sursei sonore, ci şi de absorbţia din încăpere.

Cu cît absorbţia sonoră este mai mare cu atît valoarea intensităţii sunetului reflectat scade.

Ţinînd seama de cele arătate mai sus, intensitatea sunetului într-un punct aflat la distanţa r de o sursă de putere acustică P, şi care radiază în toate direcţiile, este

$$I = I_d + I_r = \frac{P}{4\pi r^2} + \frac{4P}{A} \tag{1.14}$$

unde A este absorbţia sunetului în încăpere (în m^2), calculată cu ajutorul relaţiei :

$$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \ldots S_n\alpha_n \tag{1.15}$$

în care S_1, S_2 ... S_n sînt porţiuni de suprafeţe (în m^2) din pereţi, tavan, pardoseală, constituite din diferite materiale (tencuială, parchet, draperii etc.) iar α_1, α_2, ... α_n, coeficienţi de absorbţie (adimensional) corespunzători suprafeţelor respective.

Din examinarea relaţiei (1.14) se constată, în primul rînd, că sunetele reflectate întăresc sunetul direct, la o anumită distanţă de sursă, intensitatea sunetului fiind mai mare într-o sală decît în aer liber.

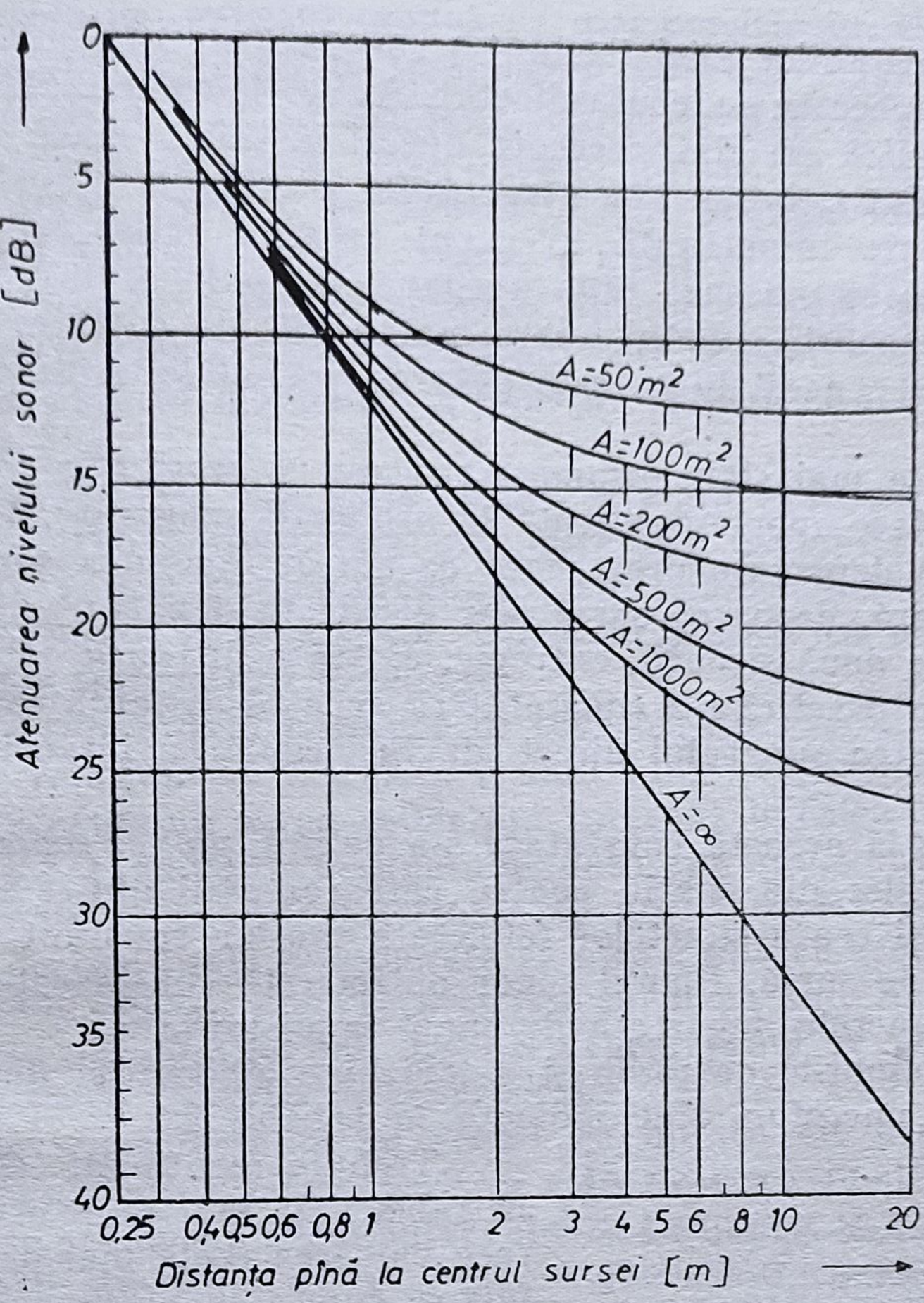


Fig. 1.7. Variaţia atenuării nivelului sonor cu distanţa.

În diagrama din figura 1.7 se vede în mod clar cum variază atenuarea nivelului sonor cu distanța în aer liber ($A = \infty$) și în încăperi cu absorbții diferite. Cu cît absorbția din încăpere este mai scăzută cu atît nivelul sonor se atenuează mai puţin cu distanța, intensitatea lui fiind aproape constantă în săli cu pereți foarte reflectanți.

Cu ajutorul relației (1.14) se poate determina și zona în care este preponderent sunetul *direct* față de sunetul *reflectat* și zona în care intensitatea sunetului reflectat depășește intensitatea sunetului direct. La limită, distanța față de sursa sonoră la care intensitatea sunetului direct este egală cu intensitatea sunetului indirect, este :

$$r_0 = \frac{\sqrt{A}}{7{,}1} \text{ [m]}$$

Deci, în apropierea sursei, în zona în care distanţa de la sursă la ascultător este mai mică decît r_0, avem o preponderenţă a sunetelor directe. La distanţe mai mari față de sursă, superioare valorii r_0, rezultă o preponderenţă a sunetelor indirecte.

În general, distanţele limită r_0 au valori reduse, aşa încît în săli, la distanţe mai mari de circa 8—10 m, sunetul care contează este numai sunetul reflectat, intensitatea sunetului direct putînd fi neglijată în raport cu cea a sunetului reflectat. Această constatare are importanţă mare la calculul puterii instalate în cazul sonorizării unei săli.

În cazul încăperilor mici (locuințe) contează numai sunetul direct, fiind neglijat de data aceasta sunetul reflectat. Avînd în vedere că în aceste cazuri distanțele sînt mici, nu sînt necesare puteri instalate mari.

Raportul dintre intensitatea sunetului direct și intensitatea sunetului reflectat are mare importanță în cazul captării sunetului cu microfoane. Dacă microfonul se plasează prea aproape de sursa sonoră, de exemplu un vorbitor sau un solist, sunetul apare mat, lipsit de culoare, parcă s-ar produce în aer liber ; acest lucru este datorat preponderenței pe care o au sunetele directe.

În plus, cele mai slabe zgomote precum și respirația vorbitorului sînt captate și la redare apar amplificate în proporții exagerate. Dacă microfonul este plasat la o depărtare prea mare de sursă, imaginea sonoră apare slab conturată, neclară, de parcă sursa s-ar pierde în depărtare.

Între aceste două situații, extreme, există o distanță optimă între sursă și microfon și în practică s-a constatat că această distanță este tocmai aceea la care intensitatea sunetului direct devine egală cu intensitatea sunetului reflectat.

Pornind de la această constatare s-a definit *planul sonor*, ca locul geometric al punctelor din spațiu pentru care raportul dintre intensitatea sunetelor directe și cea a sunetelor reflectate rămîne constant, pentru aceeași putere radiată de sursă. Planul sonor optim este considerat acela care cuprinde toate punctele depărtate de sursă la distanța r_0.

Pentru studiourile de radio și televiziune obișnuite, distanțele optime dintre sursă și microfon sînt indicate în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2

Volumul [m³]	Absorbția [m²]	Distanța optimă [m]
100	25	0,70
200	45	0,94
500	95	1,36
1 000	175	1,86
1 500	240	2,18
2 000	300	2,44
3 000	435	2,93
4 000	550	3,30

Trebuie menționat că valorile date în tabel sînt mai mult orientative, deoarece valoarea reală mai depinde și de alți factori cum sînt puterea sursei, sensibilitatea microfonului, locul în care se amplasează microfonul în încăpere etc. Totuși valorile reale se situează în vecinătatea valorilor indicate.

Presupunînd cazul real, cînd într-o sală ascultătorul este așezat la o distanță de sursă, intensitatea sunetului recepționat de acesta este în funcție de energia sunetului reflectat ; rezultă de aici că această intensitate poate varia după cum se modifică absorbția încăperii. Să presupunem că într-o sală, înainte de aplicarea tratamentului acustic, absorbția este A_1. În acest caz, cu suficientă aproximație, intensitatea sunetului este :

$$I_1 = \frac{4P}{A_1}.$$

Dacă se tratează acustic sala, va rezulta o valoare a absorbției pe care o notăm cu A_2, aceasta fiind mai mare decît A_1. De data aceasta, considerînd că sursa radiază aceeași putere acustică, intensitatea sunetului devine :

$$I_2 = \frac{4P}{A_2}$$

Rezultă clar că intensitatea I_2 este mai mică decît intensitatea I_1 înainte de a se face tratamentul acustic.

Pînă acum am considerat că sursa sonoră emite un sunet continuu, adică ne găsim în regim permanent. Dacă însă la un moment dat sursa so-

noră încetează radiația, sunetul produs va mai persista un timp în încăpere, după care se va stinge complet. Într-adevăr sunetele sînt reflectate de suprafețele care limitează încăperea și la fiecare reflexie, o parte din energia sonoră este absorbită, așa încît descreșterea intensității sunetului se va produce în mod treptat, pînă în momentul în care energia sonoră rămasă este prea mică pentru a mai produce o senzație auditivă.

Această prelungire a sunetului într-o încăpere, după încetarea radiației sonore, se numește *reverberație*, iar timpul care se scurge din momentul întreruperii sursei pînă în momentul dispariției percepției auditive se numește *timp de reverberație*.

Acesta este cu atît mai mare cu cît volumul sălii este mai mare și cu cît absorbția corespunzătoare este mai mică. Un exemplu tipic de încăperi care au această caracteristică pregnantă sînt bisericile mari și catedralele în care se cîntă curent la orgă și cor. Unele au calități așa de bune încît s-au putut face în ele înregistrări excelente.

Nu trebuie confundată noțiunea de reverberație cu cea de *ecou*. În timp ce ecoul este o reproducere distinctă a unui sunet, ca urmare a reflexiei undelor sonore de către un ecran reflectant interpus în calea propagării lor, reverberația este o prelungire a sunetului datorată numeroaselor reflexii care se produc pe toate suprafețele interioare ale unei încăperi. De aceea este greșit a se spune despre o sală reverberată că este o sală cu ecou. Ecoul se poate produce și într-o sală cu reverberația redusă, dacă sînt împlinite condițiile necesare pentru producerea lui. De asemenea, ecoul se produce și în aer liber, unde nu poate fi vorba de reverberație.

Cercetările experimentale au arătat că durata cît persistă o senzație auditivă, din momentul întreruperii ei este de aproximativ 50 ms.

Pentru a se produce un ecou intervalul de timp care se scurge din momentul recepționării sunetului direct pînă în momentul recepționării celui reflectat trebuie să fie mai mare decît 50 ms. Această condiție se mai poate formula și prin diferența dintre drumul parcurs de sunetul direct și cel reflectat, care trebuie să fie mai mare de 17 m. În plus, pentru a se putea recepționa un ecou bine precizat este necesar ca ecranul interpus în calea undelor să fie puternic reflectant, pentru ca nivelul de intensitate sonoră al sunetului reflectat să fie apropiat de nivelul de intensitate sonoră a sunetului direct.

Dacă se produce un sunet într-o sală în care există doi pereți iparaleli și destul de reflectanți, acesta se va reflecta succesiv de fiecare perete aproape fără să se piardă din intensitate. Se produc astfel o serie de ecouri care se succed la intervale de timp foarte scurte unul după altul și a căror intensitate scade lent.

Acest fenomen este cunoscut sub denumirea de *ecou de fluturare* și producerea lui crează o senzație auditivă neplăcută. La sălile care au acest defect, pentru a pune în evidență ecoul de fluture, se bate odată din palme, auzindu-se apoi un sunet metalic, similar cu zăngănitul unei table.

1.4. PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE SUNETULUI

Oscilația corpurilor metalice se transmite mediului elastic înconjurător, sub formă de unde sonore ce se propagă în spațiu în toate direcțiile. Ajunse la ureche, oscilațiile acustice avînd o frecvență cuprinsă între 16 și 20 000 Hz produc senzația de sunet (uneori de zgomot).

Noţiunea de sunet are deci un dublu aspect : unul fizic (acustic) şi unul psihofiziologic-subiectiv. Din punct de vedere fizic, sunetul este o vibraţie acustică capabilă să producă o senzaţie auditivă (deci în limitele de frecvenţă şi amplitudine perceptibile urechii omeneşti). Din punct de vedere subiectiv, sunetul este o senzaţie auditivă produsă de vibraţia acustică, tot astfel precum lumina şi culoarea sînt senzaţii vizuale produse de vibraţiile electromagnetice în limitele perceptibie simţului văzului.

Din punct de vedere al compoziţiei spectrale şi al vibraţiilor sonore continue, sunetele se clasifică în sunete pure şi sunete complexe (sunete muzicale, acorduri, zgomote).

Sunetele pure sînt rezultatul unor oscilaţii acustice sinusoidale, neîntovărăşite de alte sunete complementare (numite armonici). În natură asemenea sunete sînt rare. Se poate considera că sunetul produs de un diapazon lovit uşor este un sunet pur, practic lipsit de armonici. De asemenea, sunetele sinusoidale pure mai pot fi produse şi de generatoare electronice de ton, utilizate la măsurări şi etalonări electroacustice, precum şi unele instrumente muzicle electronice.

În general în natură se produc sunete complexe care sînt compuse din mai multe oscilaţii sinusoidale, cu frecvenţe diferite, de regulă multipli ai celei mai mici. Se numeşte *armonică* o vibraţie sinusoidală a cărei frecvenţă este un multiplu întreg al unei frecvenţe de bază numită *fundamentală*, iar *sunet complex* — sunetul care conţine mai multe sunete pure, fiind compus dintr-un sunet fundamental şi mai multe armonici. Instrumentele muzicale şi vocea omului produc sunete complexe.

Zgomotele sînt vibraţii acustice ce nu au componente bine definite. Zgomotele au frecvenţe care formează un spectru continuu sau discontinuu şi nu sînt condiţionate de rapoarte raţionale simple între frecvenţe. Zgomotul este în general supărător, poate fi brusc, sub formă de şoc de presiune a aerului, urmate de o destindere amortizată (detonaţii, pocnete). De aceea, în cele mai multe cazuri zgomotele sînt nocive şi trebuie înlăturate sau atenuate cît mai mult.

Din punct de vedere fizic, un sunet complex se caracterizează prin : *frecvenţa* celui mai intens sunet component pur care de cele mai multe ori este sunetul fundamental ; *intensitatea acustică*; *componentă spectrală* ; *durată* ; *regim tranzitoriu* (modul de stabilire şi încetare a sunetului).

1.4.1. FRECVENŢA SUNETULUI

Frecvenţa $f = \frac{1}{T}$ este numărul de perioade în unitatea de timp şi se măsoară în hertzi (Hz) sau în cicli pe secundă. Rezultă că frecvenţa sunetului e determinată de numărul de comprimări şi destinderi ale mediului elastic care iau naştere într-o secundă şi care este egal cu numărul vibraţiilor pe care le produce sursa sonoră într-o secundă.

Cu cît frecvenţa oscilaţiilor este mai mare, cu atît numărul de comprimări şi destinderi produse într-o secundă este mai mare. În cazul unei unde, punctele de compresie şi destindere a aerului se deplasează neîncetat : unda se propagă ; dacă ne închipuim această deplasare oprită la un moment dat şi considerăm situaţia în acel moment, distanţa dintre două straturi succesive de compresie maximă a mediului sau dintre două straturi succesive de destindere maximă a mediului se numeşte *lungime de undă* şi se exprimă în metri sau centimetri. Aşa cum s-a arătat, viteza de deplasare a undei depinde de caracteristicile elastice ale mediului (aer 340 m/s, apă 1 450 m/s, oţel 5 000 m/s).

Avînd în vedere relaţia dintre lungimea de undă λ, frecvenţa f şi viteza sunetului c care este o constantă a mediului, rezultă că este suficient să cunoaştem o singură mărime (f sau λ), pentru a o determina pe cea de-a doua.

1.4.2. INTENSITATEA

Intensitatea sunetului este dată de cantitatea de energie ce trece într-o secundă printr-o suprafaţă de 1 m², perpendiculară pe direcţia de propagare. Intensitatea se măsoară în watt/m² şi are dimensiunea unei puteri specifice. Relaţia care leagă intensitatea sunetului de presiunea sonoră este:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \tag{1.16}$$

unde I e intensitatea sunetului, p — presiunea sonoră instantanee în N/m², ρ — densitatea mediului (aerului) în g/cm³, c — viteza de propagare a sunetului în mediul respectiv (aer), în cm/s.

Pentru compararea intensităţilor I_1 şi I_2 a două sunete se introduce noţiunea de *nivel de intensitate sonoră* care se defineşte prin relaţia:

$$NI = 10 \log \frac{I_1}{I_2} \tag{1.17}$$

care se exprimă în decibeli (unitatea convenţională notată cu dB). Întrebuinţarea logaritmului este justificată de relaţia logaritmică între excitaţie şi senzaţie (legea Weber-Fechner).

Faţă de un sunet de intensitate minimă audibilă (situat la pragul senzaţiei auditive), luat ca nivel de referinţă I_{ref}, un sunet de intensitate I se află situat la un nivel de intensitate sonoră exprimat prin relaţia:

$$NI = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} \text{ [dB]} \tag{1.17'}$$

S-a adoptat convenţional nivelul de referinţă

$$I_{ref} = 10^{-16} \text{ W/cm}^2 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

numit şi *nivel acustic*

Două sunete exprimate prin nivelele lor de intensitate (de exemplu $I_1 = 55$ dB şi $I_2 = 40$ dB) pot fi comparate prin diferenţa numărului de decibeli (I_1 este cu 15 dB mai intens decît I_2).

În instalaţiile electroacustice compararea nivelelor între diferite puncte ale lanţului electroacustic (care exprimă amplificări sau atenuări de nivel) se face de asemenea prin diferenţa numărului de decibeli. În mod curent, decibelul este utilizat mai mult pentru unitatea de atenuare; instrumentele pentru indicarea nivelului de modulaţie (modulometrele) sînt etalonate pentru a indica la valoarea maximă punctul de referinţă 0, scala arătînd atenuări în decibeli sub această valoare pînă la cca. —60 decibeli.

Se poate exprima în mod analog *nivelul de presiune sonoră* prin relaţia:

$$L = 20 \log \frac{p}{p_{ref}} \text{ (dB)} \tag{1.18}$$

unde p este presiunea sunetului.

Presiunea de referință corespunzătoare sunetului la pragul de audibilitate (*nivel 0 acustic*), este

$$p_{ref} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2 = 2 \cdot 10^{-4} \ \mu\text{bari}.$$

1.4.3. COMPONENȚA SPECTRALĂ

Componența spectrală a unui sunet complex este determinată de numărul, ordinul și amplitudinea armonicilor care îl compun. Această caracteristică permite ca două sunete complexe care au aceeași frecvență să fie totuși diferențiate între ele, de exemplu, nota *la* (440 Hz) dată de vioară, față de nota *la* dată de pian sau corn. Păstrarea fidelă a componenței spectrale este o condiție obligatorie a reproducerii nedeformate a sunetului.

O sursă de semnal complex, în afară de sunetul fundamental cu frecvența f mai emite simultan și sunete ale căror frecvențe sînt un multiplu al frecvenței sunetului fundamental: $2f$, $3f$. . . nf, denumite sunete armonice. Sunetul fundamental poartă denumirea de armonica I. În fig. 1.8 s-au prezentat primele 3 armonici și fundamentala unui sunet. Însumarea acestor armonici în fiecare moment dă o rezultantă care nu mai are forma unei sinusoide și reprezintă semnalul complex.

Așadar, sunetul complex de frecvența f se poate descompune într-o sumă de n sunete pure (sinusoidale) corespunzînd frecvenței f a sunetului fundamental și frecvețelor $2f$, $3f$, . . . nf ale armonicilor respective.

Descompunerea matematică a unui semnal complex în componentele care-l compun se numește *analiză Fourier* sau *analiză spectrală*. De reținut că frecvența sunetului complex este egală cu cea a sunetului fundamental. Sunetele instrumentelor muzicale nu au armonici de intensități egale, unele armonici pot lipsi cu totul sau pot avea intensități total diferite față de cele ale altor instrumente.

Această particularitate a sunetelor se traduce prin senzații auditive diferite, determinînd recunoașterea lor.

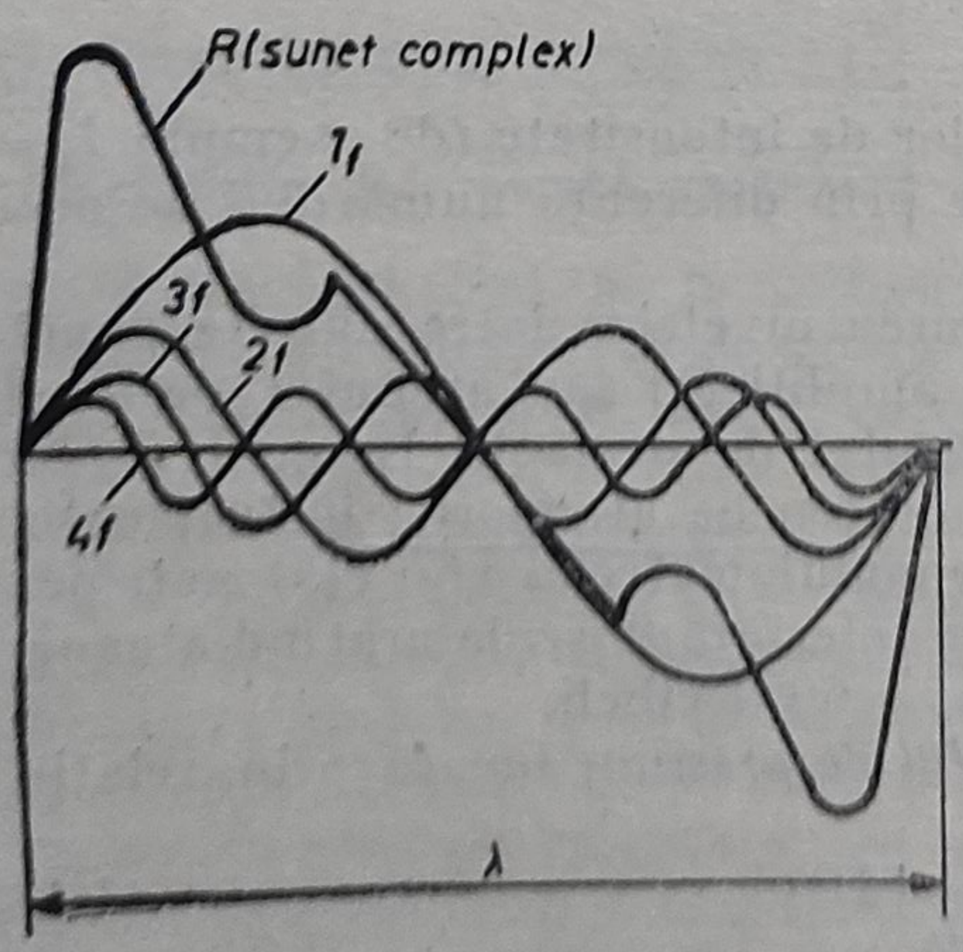


Fig. 1.8. Descompunerea unui sunet complex R în armonici.

Se numește *spectru acustic* (sau sonor) al unui sunet complex sau al unui zgomot reprezentarea în funcție de frecvență a amplitudinilor (uneori a fazelor) parțialelor sale. Se numesc *parțiale* sunetele care întovărășesc sunetul fundamental al unei surse sonore oarecare pe care o caracterizează. Aceste parțiale, care cel mai frecvent sînt sunete armonice, pot fi și nearmonice (frecvența lor să nu fie multiplu întreg al frecvenței fundamentale).

Spectrul sonor arată deci locul, numărul și intensitatea parțialelor (respectiv armonicilor) sunetului. În spectrul sonor valoarea maximă a alternanțelor pozitive ale intensității armonice se reprezintă prin lungimea liniilor spectrale.

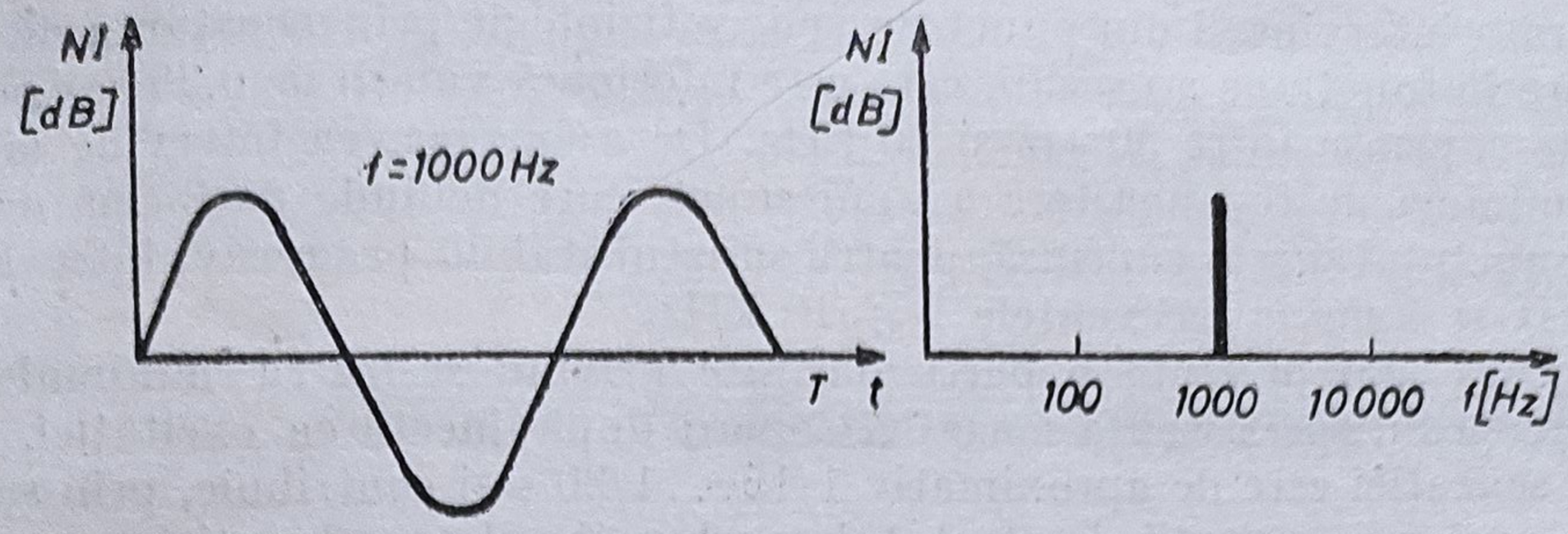
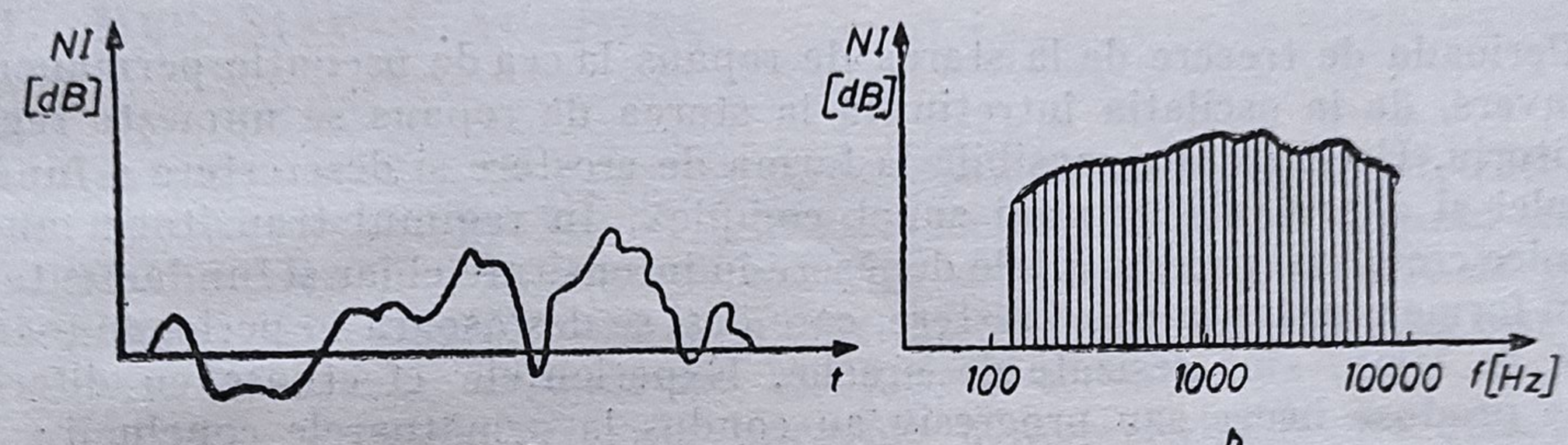


Fig. 1.9. Reprezentarea unui sunet pur (sinusoidal) : *a*) oscilograma ; *b*) spectrul sonor.



a b

Fig. 1.10. Reprezentarea unui zgomot : *a*) oscilograma ; *b*) spectrul sonor.

În figura 1.9 se reprezintă oscilograma și spectrul sonor al unui sunet pur, iar în figura 1.10 se reprezintă oscilograma și spectrul sonor al unui zgomot.

Zgomotul care are componente spectrale de aceeași intensitate și distribuite uniform în mod continuu în întreaga bandă audibilă se numește *zgomot alb* (prin asemănare cu lumina albă). Spectrul sonor al unui zgomot alb este reprezentat în figura 1.11.

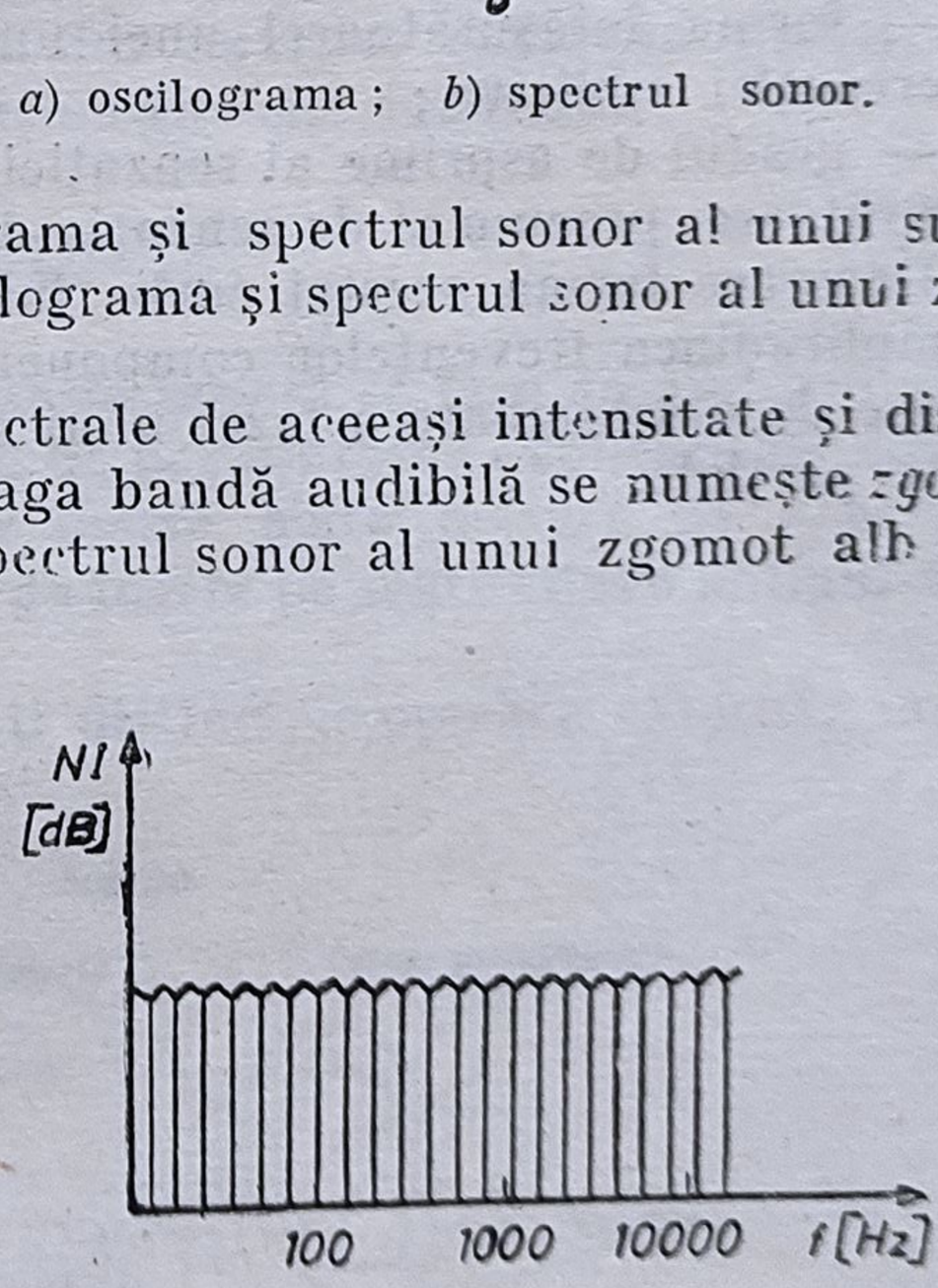


Fig. 1.11. Spectrul sonor al unui zgomot alb.

1.4.4. DURATA

O altă caracteristică a sunetului este durata. O oscilație sonoră de o anumită durată va produce o senzație auditivă de aceeași durată. Vom putea deosebi un sunet scurt de unul mai lung.

În muzică, de obicei, durata notei de o pătrime considerată ca etalon poate indica mișcarea piesei (tempoul) prin creșterea numărului de pătrimi ce intră într-un minut.

Durata intervine și din punct de vedere fiziologic prin constanta de timp de punere în funcțiune a urechii, care este inferioară valorii de 0,25 ms pentru frecvențe cuprinse între 50 Hz și 10 kHz. De asemenea, ea intervine și prin durata minimă de recunoaștere a unui sunet, care depinde de forma de stabilire a sunetului și este cuprinsă, pentru sunetul stabilit progresiv, între 12 ms la 100 Hz și 4 ms la frecvențele $2 \div 10$ kHz.

Urechea mai prezintă o particularitate privind sesizarea minimului de timp perceptibil: persistența senzației sonore după încetarea excitației. Persistența senzației este de aproximativ 1/15...1/20 s și contribuie, prin suprapunerea unei noi excitații, la efectul de prelungire al reverberației.

1.4.5. REGIMUL TRANZITORIU

Perioada de trecere de la starea de repaus la cea de oscilație permanentă sau invers, de la oscilația întreținută la starea de repaus se numește regim tranzitoriu. Urechea este sensibilă la forma de creștere și descreștere a fundamentalei și a armonicelor unui sunet complex. În regimul tranzitoriu unele armonice cresc mai repede, altele depășesc în intensitate chiar și fundamentala, sau au forme neașteptate de creștere, care deși se desfășoară în perioade foarte scurte de timp, sînt sesizate de ureche. Experiențele efectuate cu diferite sunete produse brusc sau progresiv au condus la următoarele concluzii:

— forma înfășurătoarei unei unde complexe este un factor important al percepției auditive;

— gradul de asprime al senzației date de sunet este influențat de forma înfășurătoarei precum și de senzația de înălțime aparentă a sunetului.

Deoarece forma acestei curbe înfășurătoare depinde atît de fază cît și de amplitudinea frevențelor componente, aceste diferențe de senzații pot fi produse de o schimbare a fazei unui singur sunet parțial sau de un grup de sunete parțiale.

Capitolul 2

Noţiuni de acustică fiziologică

2.1. MECANISMUL AUDIŢIEI

Senzaţia auditivă depinde de caracteristicile sursei de sunet, care generează undele sonore capabile să impresioneze auzul, şi de organul auditiv.

Soluţionarea problemelor de acustică este determinată atît de factorii obiectivi cît şi de factorii subiectivi care intervin întotdeauna cînd este vorba de sunet, în accepţia comună de excitaţie şi senzaţie.

Însuşirile a căror influenţă intervine în aprecierile făcute rezultă din anatomia urechii, proprietăţile aparatului auditiv, calităţile auditive ale omului precum şi din caracteristicile fiziologice ale sunetului.

2.1.1. ANATOMIA ORGANULUI AUDITIV

Trecerea de la sunetul fizic la senzaţia sonoră se face cu ajutorul urechii ca organ intermediar. Anatomia urechii dă posibilitatea explicării mecanismului auzului şi de aceea interesează în foarte mare măsură pe acusticieni. Pentru înţelegerea fenomenelor se vor da foarte pe scurt cîteva noţiuni despre organul auzului.

Urechea se compune din trei părţi distincte : urechea externă, urechea mijlocie şi urechea internă (fig. 2.1).

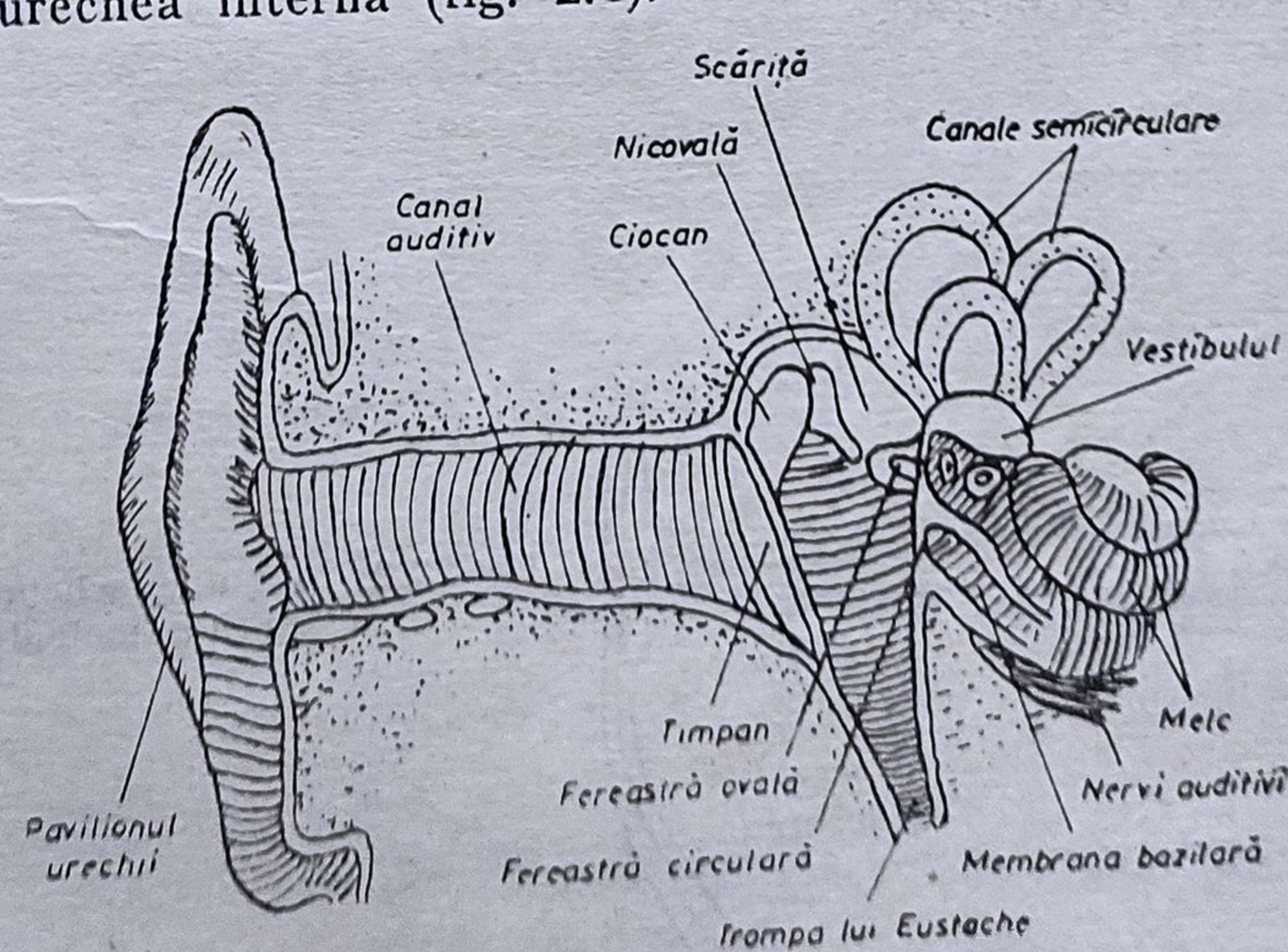


Fig. 2.1. Secţiune prin organul auditiv.

Urechea externă cuprinde pavilionul urechii, care are rolul de a colecta și dirija undele acustice spre canalul auditiv, care la rîndul său conduce undele acustice spre urechea mijlocie. Canalul are forma unui tub, avînd diametrul de aproximativ 0,7 cm și lungimea de cca. 2,5 cm, fiind deschis la un capăt și închis la celălalt capăt cu o membrană vibrantă numită timpan. Întocmai ca oricare tub închis, și canalul auditiv are o anumită frecvență de rezonanță, egală cu aproximativ 3 000 Hz ; presiunea acustică în dreptul timpanului este cu aproape de 10 dB mai mare decît presiunea acustică la intrarea canalului și deci urechea este mai sensibilă la frecvențele care se găsesc în jurul celei de rezonanță.

Timpanul desparte urechea externă de urechea mijlocie. Urechea mijlocie este o cavitate avînd un volum cuprins între 1 și 2 cm^3, în care se găsesc 3 oscioare : ciocanul, nicovala și scărița. Ciocanul se sprijină pe timpan în timp ce talpa scăriței se sprijină pe fereastra ovală ; în felul acesta, oscioarele fac legătura între timpan și fereastra ovală, îndeplinind rolul unui transformator cu raportul de aproximativ 30 : 1, astfel încît presiunea care se exercită în dreptul ferestrei ovale este mult mai mare decît cea existentă în dreptul timpanului. Cavitatea care formează urechea mijlocie se găsește în legătură cu mediul exterior prin intermediul cavității bucale și al unui canal denumit trompa lui Eustache. Datorită aerului care poate pătrunde prin acest canal, se stabilește un echilibru între presiunea aerului pe ambele părți alr timpanului.

Urechea internă are trei părți: vestibul, canalele semicirculare și melcul.

Canalele circulare nu au un rol în mecansimul audiției, funcția lor fiind de a da senzația de echilibru.

Melcul are cea mai importantă contribuție la formarea senzației auditive și este format dintr-un tub principal, lung de aproximativ 3 cm, răsucit în spirală de 2,75 ori. Secțiunea prin una din spire (fig. 2.2), arată că acest tub conține alte trei canale separate între ele prin niște membrane.

Canalul mijlociu (*ductus cohlearias*) conține capetele nervilor audiției care sînt un fel de firișoare perpendiculare pe generataorele canalului. Numărul acestor firișoare este foarte mare, de cca. 24 000. Deasupra lor (fig. 2.3) se află o membrană asemănătoare unei aripi, prinse de o generatoare a canalului (membrana tectorială).

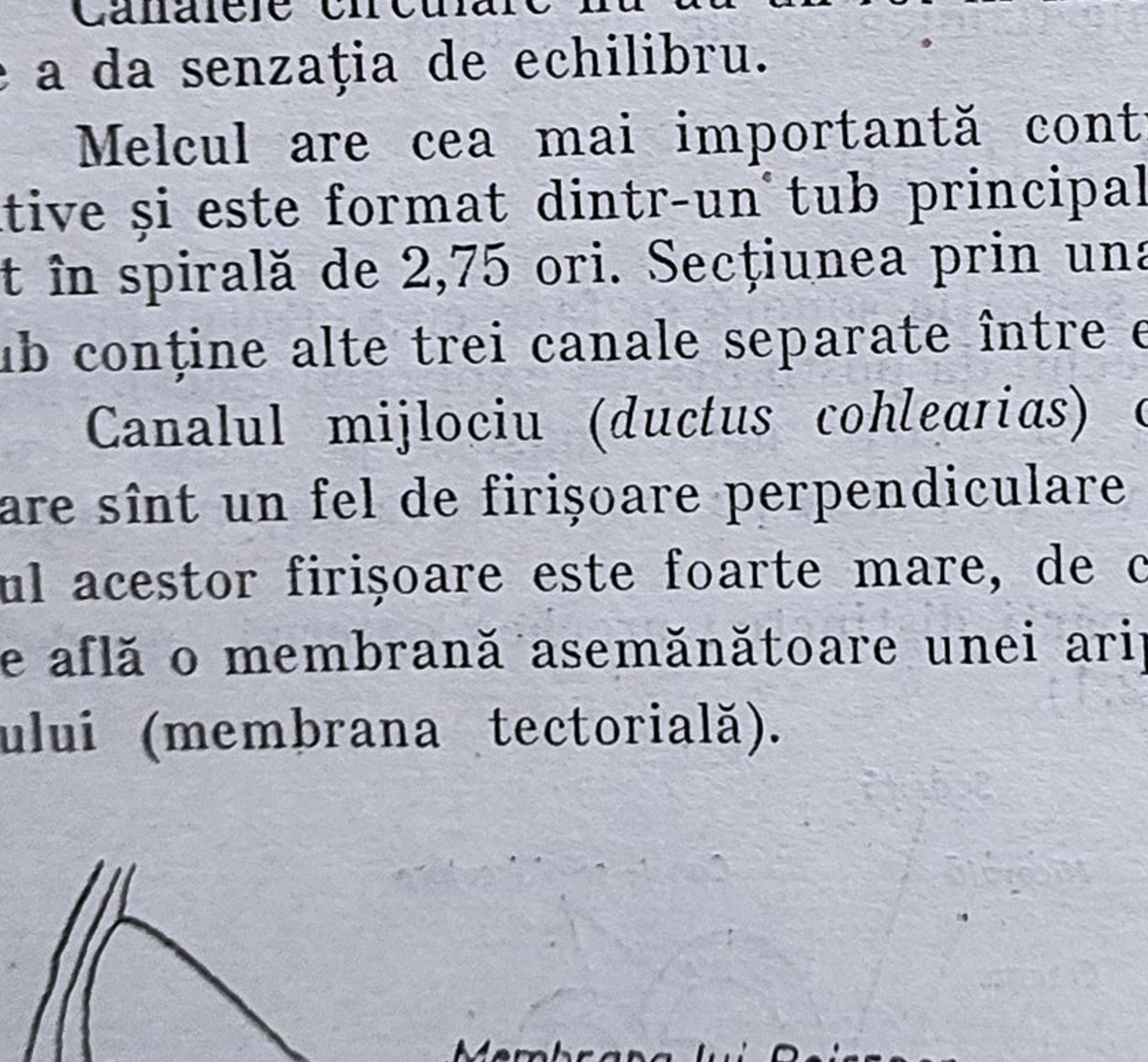


Fig. 2.2. Secțiune schematică printr-o spiră a melculuí.

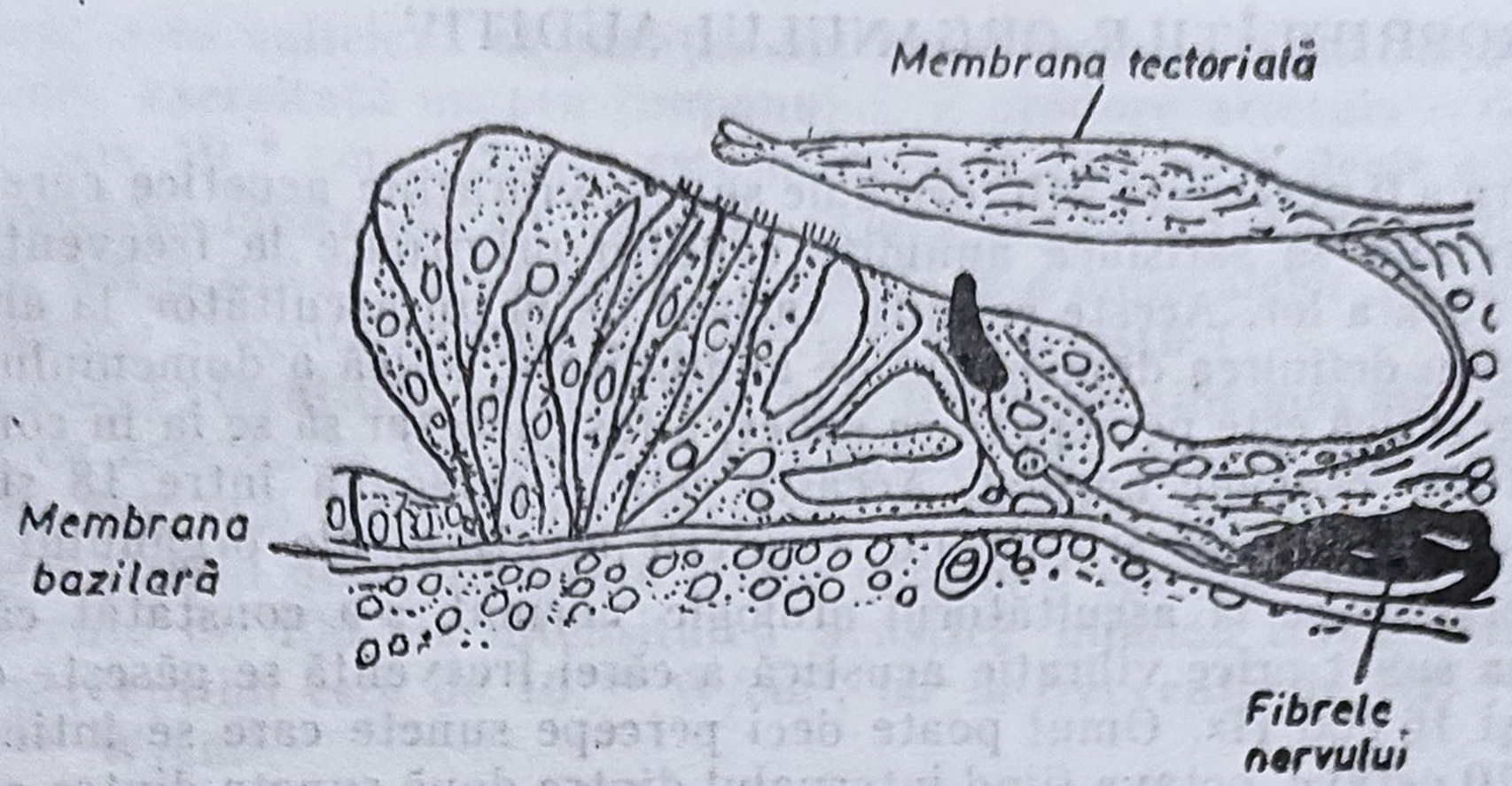


Fig. 2.3. Secțiune prin membrana tectorială și bazilară.

Toată urechea internă, deci și canalul melcului, conține un lichid vîscos numit *limfă*. Vibrațiile ferestrei ovale se transmit lichidului din canalul cohlear și provoacă mișcarea membranei tectoriale. Tremurul membranei face ca ea să atingă capetele nervilor. Locul unde se produce atingerea nu este oarecare, el corespunde unei anumite frecvențe.

Cercetările anatomice au dovedit că localizarea frecvențelor se face de-a lungul canalului cohlear, începînd cu cele mai înalte și terminînd cu cele mai joase.

Desfășurarea schematică a canalului cohlear (fig. 2.4) arată că lîngă fereastra ovală se găsesc nervii frecvențelor de peste 16 000 Hz iar la capătul opus nervii frecvențelor sub 60 Hz. În acest complicat sistem anatomic, asupra căruia se mai fac ipoteze destinate să-i explice funcționarea, tăria senzației auditive se datorește intensității contactului dintre membrana tectorială și capetele nervilor, iar înălțimea senzației — locului unde se produce acest contact. Funcționarea canalului cohlear este similară cu a unui analizor care permite captarea simultană a mai multor frecvențe. Compararea canalului cohlear cu o harpă în care coardele vibrează prin rezonanță cu sunetul exterior, pare în urma celor arătate, foarte aproximativă. În legătură cu mecanismul auditiv s-au mai emis și alte teorii, s-au făcut și diverse cercetări pe animale, dar nu s-a ajuns la nici o concluzie unanimă, ca urmare a faptului că aceasta este foarte complicat. Rămîne ca cercetările viitoare să facă noi precizări pentru a defini mai exact modul de conversie a excitației sonore în senzație auditivă.

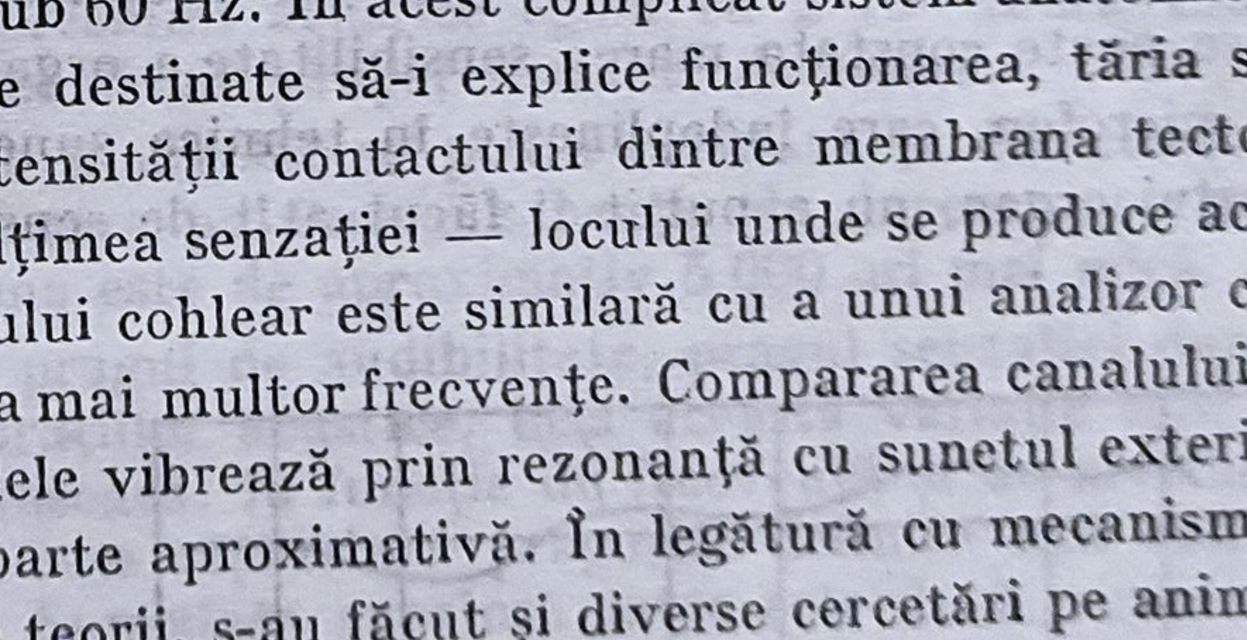


Fig. 2.4

2.1.2. PROPRIETĂŢILE ORGANULUI AUDITIV

Pentru a fi percepute sub formă de sunet, vibraţiile acustice care ajung la ureche trebuie să satisfacă anumite condiţii privitoare la frecvenţa, intensitatea şi durata lor. Aceste condiţii variază de la un ascultător la altul şi de aceea pentru definirea domeniului de audibilitate, adică a domeniului în care vibraţia acustică este percepută ca sunet, a fost necesar să se ia în considerare un ascultător otologic normal. Aceasta este o persoană între 18 şi 25 ani, care are auzul normal şi care nu a suferit afecţiuni ale organului auditiv.

Raportîndu-se la ascultătorul otologic normal, s-a constatat că acesta percepe ca sunet orice vibraţie acustică a cărei frecvenţă se găseşte cuprinsă între 16 şi 16 000 Hz. Omul poate deci percepe sunete care se întind într-o gamă de 10 octave, octava fiind intervalul dintre două sunete dintre care unul are frecvenţă dublă faţă de celălalt. Vibraţiile acustice cu frecvenţe mai mici de 16 Hz (infrasunete) şi cele cu frecvenţe mai mari de 16 000 Hz (ultrasunete) nu se aud, dar pot fi puse în evidenţă cu aparate speciale.

În ceea ce priveşte intensitatea vibraţiei acustice, ea trebuie să fie cuprinsă de asemenea între anumite limite. Pentru ca o vibraţie acustică, a cărei frecvenţă se găseşte în limitele indicate mai sus, să poată fi percepută ca un sunet, ea mai trebuie să îndeplinească încă o condiţie : intensitatea sa trebuie să fie mai mare decît o anumită valoare minimă.

Această valoare minimă variază cu frecvenţa şi, pentru un ascultător otologic normal, s-a găsit că la frecvenţa de 1 000 Hz ea este egală cu 10^{-16} W/cm^2, corespunzătoare unei presiuni acustice de $2 \cdot 10^{-4}$ μbari. Această limită a auzului se numeşte *prag de audibilitate* (fig. 2.5).

Analizînd valoarea minimă a presiunii acustice care produce o senzaţie de auz, se poate constata marea sensibilitate a organului auditiv al omului. Nici un microfon, care îndeplineşte în tehnica sunetului o funcţie similară cu a acestui organ, nu a putut fi făcut atît de sensibil. Pentru a evidenţia

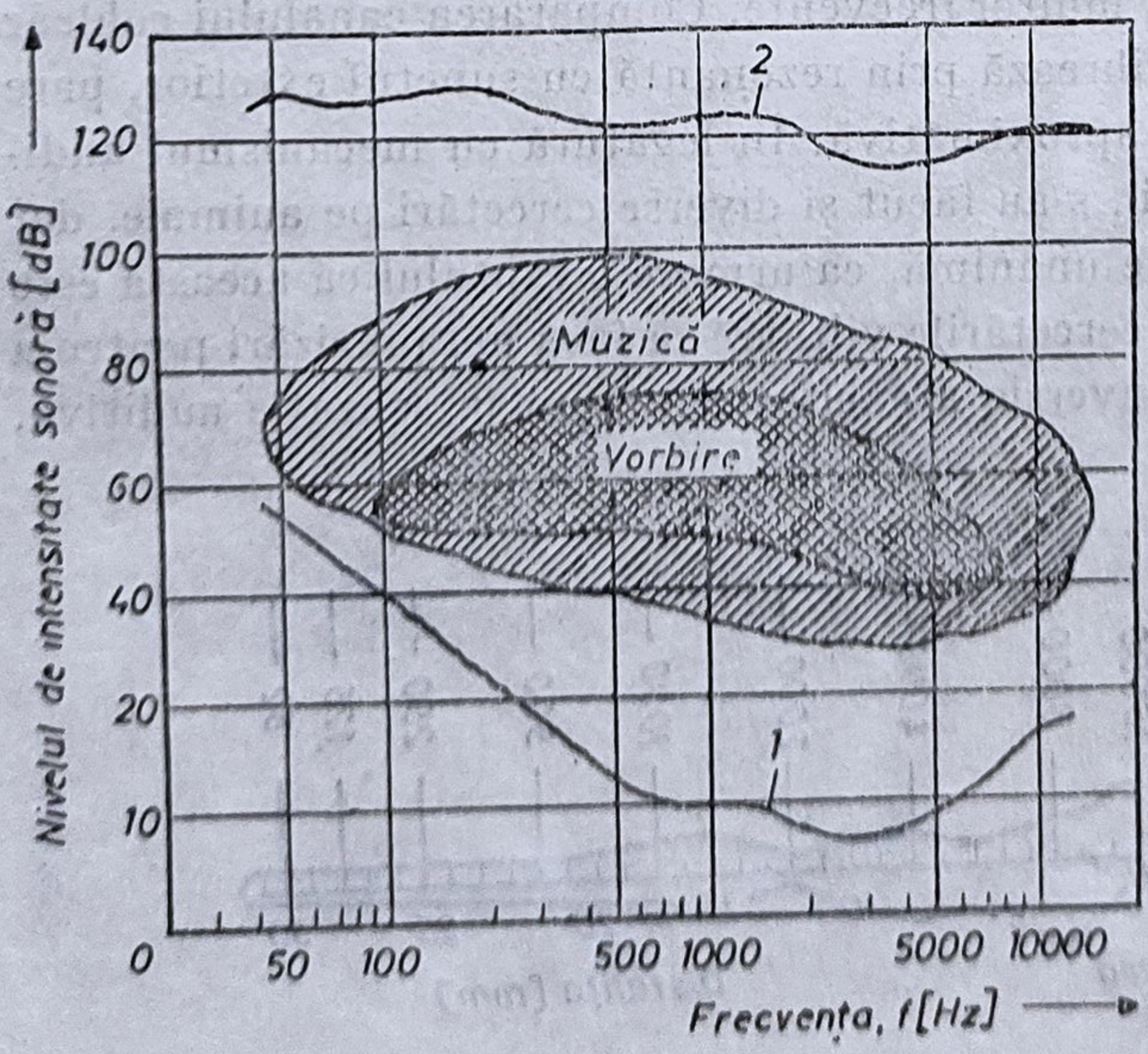


Fig. 2.5. Suprafaţa de audibilitate : *1* — pragul de audibilitate; *2* — pragul senzaţiei dureroase.

acest fapt este suficient să menționăm că o presiune acustică de ordinul a 10^{-4} μbari, exercitată asupra timpanului, îi produce acestuia o deplasare de aproximativ 10^{-9} cm. Aceasta este o distanță mai mică decît a zecea parte din diametrul moleculei de hidrogen. Dacă organul auditiv ar fi puțin mai sensibil, am fi putut auzi mișcarea browniană a moleculelor, zgomotul produs de circulația sîngelui în corp sau procesul de digestie!

În cazul vibrațiilor acustice ale căror frecvențe sînt mai mici de 1 000 Hz, pentru ca acestea să fie percepute ca sunete este necesar ca intensitatea lor să fie cu atît mai mare cu cît frecvența este mai scăzută.

Deci pragul de audibilitate crește continuu spre frecvențe joase. Astfel, la frecvența de 400 Hz intensitatea acustică minimă corespunzătoare unui sunet perceptibil este de 10^{-15} W/cm², iar la frecvența de 100 Hz ea crește la 10^{-12} W/cm².

Organul auditiv al omului are o sensibilitate mai mare la vibrații acustice ale căror frecvențe sînt cuprinse 2 000 și 5 000 Hz. Frecvența corespunzătoare sensibilității maxime se găsește în vecinătatea frecvenței de 3 000 Hz. Aceasta se datorește, așa cum s-a arătat, proprietăților rezonatoare ale canalului auditiv. Datorită tocmai sensibilității mărite a urechii în domeniul frecvențelor cuprinse între 2 000 și 5 000 Hz, sunetele ale căror frecvențe se găsesc în acest domeniu sînt mai supărătoare. Este un fapt important, de care se ține seama în acțiunea de reducere a nivelului zgomotului și de stabilire a normelor, la construcția aparatelor de măsurat și analizat zgomotul, la proiectarea difuzoarelor etc.

Dacă intensitatea vibrațiilor acustice crește în mod continuu, se va ajunge la o anumită valoare la care omul manifestă o senzație de presiune, care se transformă în durere. Aceasta se întîmplă de exemplu în cazul vibrațiilor acustice de 1 000 Hz cu o intensitate de aproximativ 10^{-4} W/cm², corespunzătoare unei presiunii acustice egală cu $2 \cdot 10^2$ μbari. Limita superioară a audibilității constituie *pragul senzației dureroase.*

Marea sensibilitate a urechii se poate constata și din compararea valorii presiunii acustice care produce o senzație de durere, cu valoarea presiunii atmosferice. Prima este de aproximativ 5 000 ori mai mică.

Întocmai ca și la pragul de audibilitate, pragul senzației dureroase variază cu frecvența vibrațiilor acustice, însă această variație este mai puțin accentuată. Dacă se trasează, în funcție de frecvență și de nivelul de intensitate sonoră, curbele care reprezintă pragurile definite mai sus, se obține diagrama din fig. 2.5. Suprafața cuprinsă între cele două curbe reprezintă *suprafața de audibilitate.*

Pe diagramă s-au trasat și zonele corespunzătoare vorbirii și muzicii. Se constată că ambele zone sînt cuprinse în suprafața de audibilitate și, pentru că vorba și muzica înregistrată sau transmisă prin mijloace electroacustice să fie redată cît mai fidel, este necesar ca performanțele aparatului să țină seama atît de lărgimea benzii de frecvență cît și de lărgimea benzii de intensitate (dinamica sistemului).

Trebuie remarcat faptul că domeniul de intensități audibile are o întindere extrem de mare. Pentru a pune în evidență aceasta, este destul să facem raportul între intensitatea acustică corespunzătoare pragului de durere și cea corespunzătoare pragului de audibilitate și vom constata că valoarea acestui raport este de 10^{12}.

În afară de limitele de frecvență și intensitate, vibrațiilor acustice li se mai pune o condiție pentru a crea o senzație auditivă: aceasta ține de

durata vibrației. Pentru ca o vibrație acustică ce îndeplinește condițiile de frecvență și de intensitate precizate mai sus să poată fi percepută ca sunet, trebuie să aibă o durată în timp de minimum 60 ms.

Cu alte cuvinte, pentru o vibrație cu frecvența de 1 000 Hz urechea trebuie să fie excitată cel puțin șaisprezece perioade. Cînd durata unei vibrații este mai mică decît cea limită, urechea percepe vibrația sub formă de pocnet.

De asemenea, urechea, la fel ca și ochiul, are o anumită inerție la dispariția excitației. Senzația produsă continuă să mai persiste un oarecare timp după încetarea excitației, această durată fiind de ordinul a 50 ÷ 60 ms.

2.1.3. PARTICULARITĂȚI ALE ORGANULUI AUDITIV

A. Neliniaritatea

Se observă că, peste anumite nivele de intensitate, un sunet pur aplicat urechii generează senzații în care sunetul pur apare însoțit de armonici. Tot astfel, două sunete pure intense aplicate simultan nu se aud singure, ci însoțite de armonici și de sunete suplimentare de frecvențe egale cu suma și diferența frecvențelor celor două sunete inițiale. Explicația acestor fenomene o dă ipoteza neliniarității urechii. Relația dintre nivelul la care apar armonicile datorate neliniarității și frecvență, pentru ordinul armonicii (2, 3, 4, 5), este reprezentată în fig. 2.6.

B. Variația minimă perceptibilă a intensității

Nvielul de intensitate sonoră poate varia fără ca urechea să simtă, dacă variația rămîne sub așa-numitul *minim perceptibil*. Acest minim depinde de frecvență și de nivelul de tărie pe care îl are senzația de variația intensității. Curbele care reprezintă acest minim pentru diferite frecvențe și nivele sînt prezentate în fig. 2.7. Ele arată că la frecvențe mijlocii și nivele mari, acest minim perceptibil este sub 1 dB, concluzie interesantă pentru determinarea gradului de aproximație în diferite situații practice. La nivele de tărie a senzației auditive mai mici de 30 dB variația minimă perceptibilă este de 2÷3 dB.

C. Variația minimă perceptibilă a frecvenței

Se constată că urechea nu simte variația frecvenței unui sunet fizic, dacă această variație rămîne sub o anumită valoare. Acest minim percep-

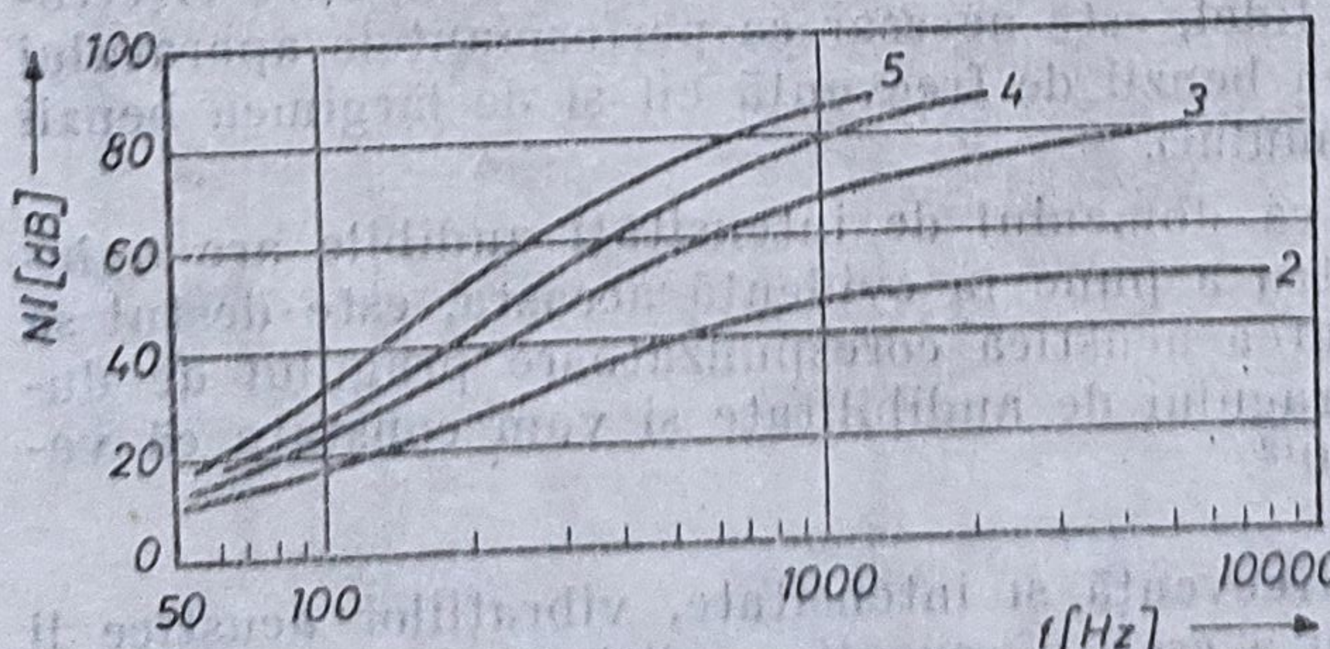


Fig. 2.6. Nivelul de intensitate sonoră, la care apar armonicile de diferite ordine, în funcție de frecvență.

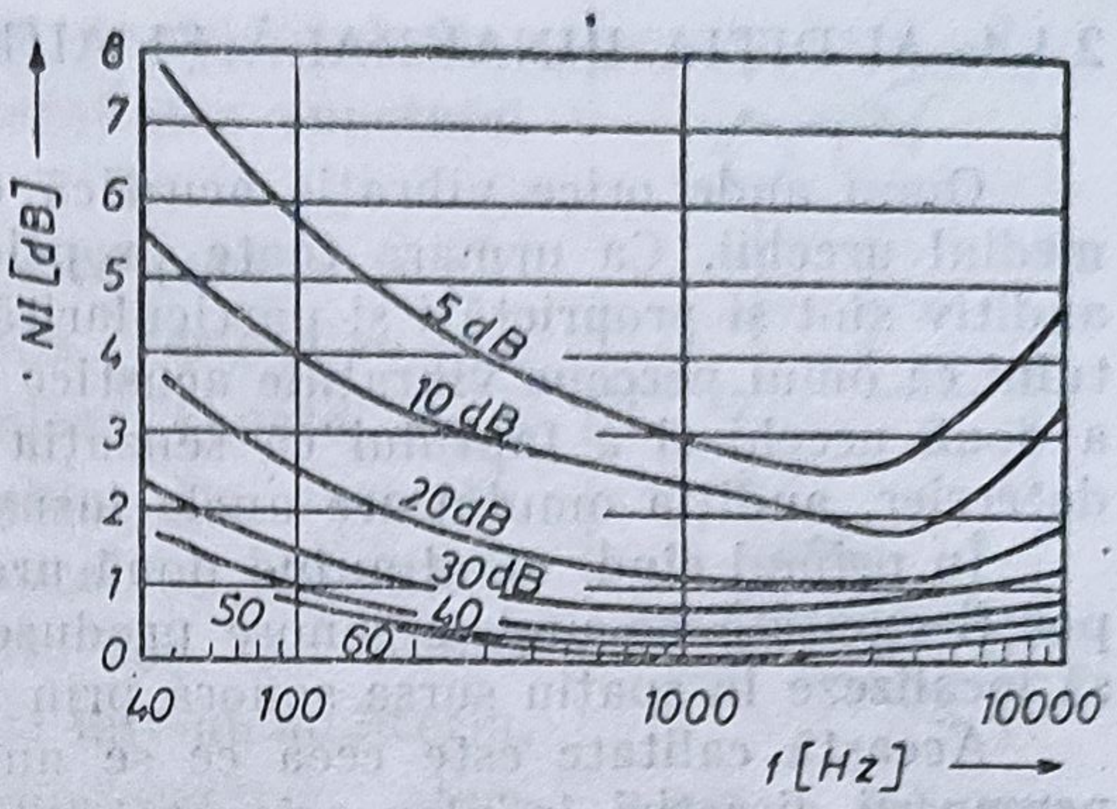


Fig. 2.7. Percepţia minimă a variaţiei nivelului de intensitate sonoră, în funcţie de frecvenţă, pentru diferite nivele de tărie a senzaţiei auditive.

tibil în variaţia frecvenţei depinde de frecvenţa existentă înainte de variaţie şi de nivelul de tărie al senzaţiei sonore.

Curbele care reprezintă variaţiile procentuale ale frecvenţei în funcţie de cele două variabile arătate mai sus se văd în fig. 2.8. Din ele rezultă că pentru nivelele mari şi frecvenţele mijlocii, este perceptibilă chiar o variaţie de 0,3%, constatare importantă pentru stabilirea deviaţiei admisibile între frecvenţa emisă într-o încăpere şi frecvenţa proprie cu care răspunde încăperea.

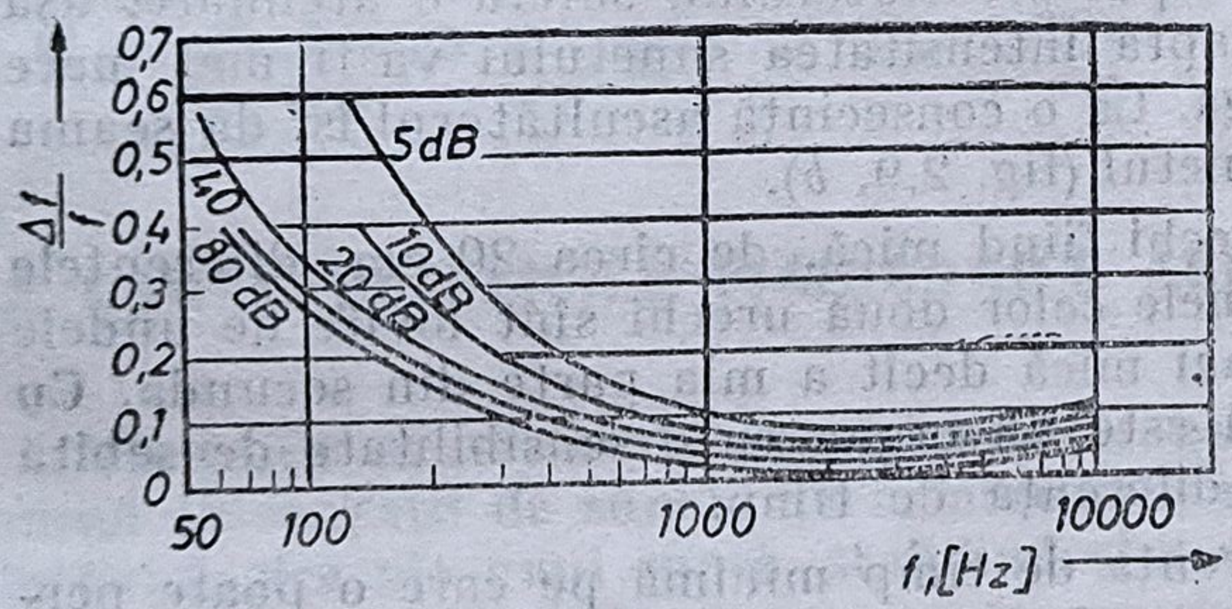


Fig. 2.8. Percepţia minimă a variaţiei $\Delta f/f$ în funcţie de frecvenţă, pentru diferite nivele de tărie sonoră.

D. Diferenţa minimă perceptibilă în durata sunetului

Un sunet pur, indiferent de frecvenţa sa, nu poate fi sesizat de ureche dacă are o durată mai mică de 60 ms, însă urechea poate totuşi, să perceapă diferenţele de durată între două sunete chiar pînă la 10 ms. De această particularitate trebuie ţinut seama atunci cînd se studiază regimurile tranzitorii.

E. Efectul de acoperire

Perceperea unui sunet care interesează este stînjenită de apariţia unui sunet nedorit, perturbator, al cărui efect este echivalent cu slăbirea nivelului intensităţii sunetului util cu un număr de decibeli egal cu diminuarea aparentă suferită de nivelul iniţial. Rezultatul acţiunii sunetului perturbator se numeşte *efect de acoperire*, sau *de mască*, nivelul iniţial al sunetului acoperit se numeşte *nivel acoperit*, iar nivelul perturbator se numeşte *nivel acoperitor*. Valoarea creşterii nivelului acoperit pînă la restabilirea condiţiilor de audibilitate iniţiale se numeşte *nivel de acoperire*, deoarece acţiunea de ridicare egalează acţiunea de scădere produsă de efectul de acoperire.

2.1.4. AUDIȚIA BINAURALĂ ȘI AUDIȚIA INTELIGENTĂ

Omul aude orice vibrație acustică din mediul înconjurător prin intermediul urechii. Ca urmare toate proprietățile și particularitățile organului auditiv sînt și proprietăți și particularități ale audiției omului. Datorită faptului că omul percepe vibrațiile acustice din mediul înconjurător cu ajutorul a două urechi și a faptului că senzația auditivă percepută este prelucrată de creier, audiția omului are unele însușiri specifice.

În primul rînd, omul avînd două urechi, deci două organe identice care pot fi excitate de undele sonore produse de aceeași sursă, are posibilitatea să localizeze în spațiu sursa sonoră prin aprecirea direcției și distanței.

Această calitate este ceea ce se numește *audiție binaurală*. Explicația percepерii direcției în plan orizontal este foarte simplă. Dacă sursa sonoră se găsește în fața ascultătorului, adică în planul median al capului, undele sonore produse de sursă parcurgînd distanțe egale lovesc în același timp timpanele celor două urechi. Totodată, în dreptul celor două urechi și intensitățile sunetului sînt egale. Cum organele auditive sînt impresionate identic, ascultătorul, fără a vedea sursa, își dă seama că acestea se găsește în planul median al capului (fig. 2.9, *a*).

Dacă sursa sonoră se găsește în dreapta ascultătorului, undele sonore produse parcurg distanțe diferite pentru a ajunge la cele două urechi. Ele vor lovi întîi timpanul urechii din dreapta și apoi timpanul urechii din stînga. În plus, undele sonore, ocolind capul ascultătorului, suferă o atenuare, așa încît în dreptul urechii din dreapta intensitatea sunetului va fi mai mare decît în dreptul urechii din stînga. Ca o consecință ascultătorul își dă seama de direcția de unde îi parvine sunetul (fig. 2.9, *b*).

Distanța între cele două urechi fiind mică, de circa 20 cm, diferențele dintre momentele în care timpanele celor două urechi sînt lovite de undele sonore este extrem de redusă, mai mică decît a mia parte din secundă. Cu toate acestea urechea omenească este un organ cu o sensibilitate deosebită și percepe cu ușurință această diferență de timp.

Experiența a arătat că diferența de timp minimă pe care o poate percepe organul auditiv al omului este de $3 \cdot 10^{-5}$ s, permițînd aprecierea unei deviații de 3° a direcției sursei față de planul median al capului.

Diferența de intensitate depinde de frecvența sunetului, fiind cu atît mai mare cu cît frecvența sunetului este mai mare și depinde și de unghiul format de planul median al capului cu direcția sursei.

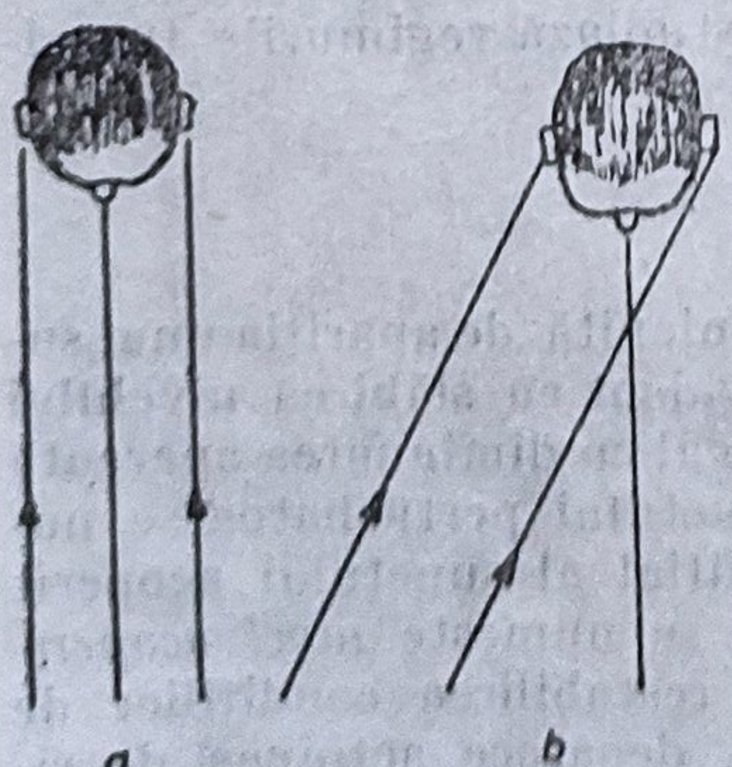


Fig. 2.9. Audiția binaurală.

Dacă acest unghi variază între 0° și 50°, diferența de nivel de intensitate sonoră, în decibeli, crește liniar de la 0 la 7 dB, menținîndu-se aproape constantă la această valoare în cazul cînd unghiul crește pînă la 90°.

Aprecierea de către om a distanței la care se găsește sursa este mai dificilă decît aprecierea direcției. Ea depinde de intensitatea sunetului, de mediul înconjurător (spațiu deschis sau încăpere), de depărtarea sursei.

Experimental s-a constatat că numai distanțele mai mici de 2 m pot fi determinate cu precizie. Într-un spațiu închis aprecierea dis-

tanței este influențată în mare măsură de raportul dintre intensitatea sunetului direct și intensitatea sunetului reflectat.

O altă calitate a audiției omului este ceea ce se numește *audiție inteligentă*. Omul posedă facultatea de a-și concentra atenția asupra anumitor sunete, de a izola anumite sunete dintr-un ansamblu. De exemplu, din ansamblul unei orchestre simfonice un ascultător poate să urmărească numai sunetul viorilor sau numai al instrumentelor de suflat, după cum într-un auditoriu, pentru a asculta prelegerea unui conferențiar, atenția noastră este concentrată asupra cuvintelor rostite de acesta, fără a intercepta anumite zgomote care ar proveni din afară sau de la diferite surse interioare.

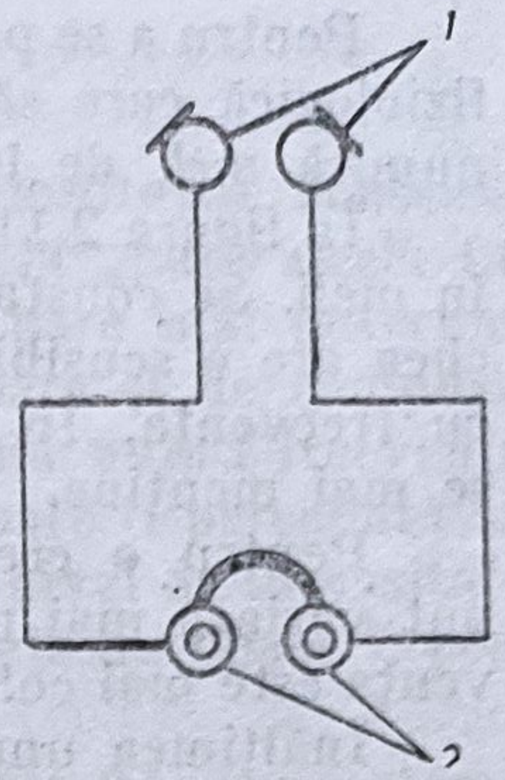


Fig. 2.10. Cel mai simplu mijloc de transmisie stereofonică: *1* — microfoane; *2* — căști.

Audiția binaurală nu e posibilă cu aparatele electroacustice de captare și înregistrare monofonică a sunetului.

Pentru a remedia această deficiență a captării și redării monofonice a sunetului s-a căutat să se reproducă principalele caracteristici ale audiției omului și în cazul în care audiția se face în alt loc prin intermediul unor instalații acustice, realizîndu-se procedeul de captare și redare stereofonică și cuadrofonică a sunetului (fig. 2.10).

2.2. CARACTERISTICILE FIZIOLOGICE ALE SUNETULUI

Vibrațiile acustice ale aerului sînt transformate de organul auditiv al omului în senzații de sunet. Ca urmare este necesar să definim caracteristicile fiziologice ale unui sunet, stabilind și corelația care există dîntre aceste mărimi și mărimile fizice corespunzătoare excitației. Din punct de vedere subiectiv un sunet continuu are în general trei caracteristici fiziologice care-l fac să poată fi deosebit de un alt sunet: înălțimea, tăria și timbrul.

2.2.1. ÎNĂLȚIMEA SUNETULUI

Înălțimea unui sunet este însușirea senzației auditive după care sunetele pot fi ordonate pe o scară, de la sunete „joase" la sunete „înalte". Înălțimea unui sunet este în funcție de frecvența vibrației acustice care a produs sunetul. Urechea apreciază două sunete ca avînd înălțimi egale, cînd ele au aceeași frecvență și ca fiind de înălțimi diferite cînd frecvențele vibrațiilor care le-au produs sînt diferite; cel mai înalt (sau mai acut) este acela care este produs de o vibrație cu frecvență mai ridicată. Experiența a arătat însă că înălțimea nu este în funcție numai de frecvență, ci mai depinde și de nivelul de presiune sonoră și de forma undei. Două vibrații acustice de aceeași frecvență, însă de nivele de intensitate sonoră diferite, nu vor fi percepute ca sunete avînd aceeași înălțime. Cu cît nivelul de intensitate sonoră este mai mare cu atît sunetul apare mai înalt. De aceea nu există o corelație simplă între înălțimea sunetului și frecvență.

Pentru a se pune în evidență aceasta, s-a căutat să se introducă o mărime fiziologică care să definească înălțimea unui sunet. Această mărime a fost numită *mel*, de la cuvîntul melodie.

În figura 2.11 este indicată legătura dintre frecvența în herți și înălțimea în meli. Se constată că în banda de frecvențe 1 000—5 000 Hz, în care urechea are o sensibilitate mai mare, înălțimea este aproximativ proporțională cu frecvența. În domeniul frecvențelor joase această proporționalitate nu se mai menține.

Pentru o creștere apreciabilă a frecvenței, înălțimea sunetului perceput variază mai puțin și această variație este cu atît mai lentă cu cît frecvența este mai coborîtă.

Înălțimea unui sunet complex, care conține o serie de componente de mărimi, comparabile, depinde nu numai de frecvența fundamentalei ci și de frecvențele și amplitudinile componentelor superioare.

Să presupunem că un sunet complex este constituit dintr-o serie de componente de mărimi egale avînd frecvențele 100, 200, 300, 400 și 500 Hz: înălțimea sunetului complex va fi aproximativ de 100 meli. Eliminînd din compoziția sunetului componenta de 100 Hz, toate celelalte fiind păstrate neschimbate, înălțimea sunetului rămîne aproape egală tot cu 100 meli. Dacă însă am adăuga o serie de alte componente de frecvențe cuprinse între cele de mai sus, înălțimea sunetului se va schimba în mod sensibil. De aici rezultă că înălțimea unui sunet complex depinde mai mult de frecvența relativă a diferitelor componente avînd frecvența cea mai coborîtă.

O influență importantă asupra perceperii înălțimii unui sunet o are valoarea minimului perceptibil la schimbarea frecvenței excitatoare (fig 2.8).

Din acest grafic rezultă că organul auditiv este mai sensibil la schimbările de frecvențe din domeniul frecvențelor înalte superioare lui 1 000 Hz, în timp ce sensibilitatea scade pe măsură ce frecvența se micșorează.

În general, sensibilitatea la variația înălțimii descrește odată cu nivelul de intensitate sonoră. Se poate considera că în cazul nivelelor de intensitate sonoră nu prea mică, de ordinul a 60 dB și mai mari, o persoană percepe schimbarea înălțimii unui sunet dacă frecvența a variat cu aproximativ 3 Hz la frecvențe sub 1000 Hz și cu 0,3% din frecvența dacă aceasta e mai mare

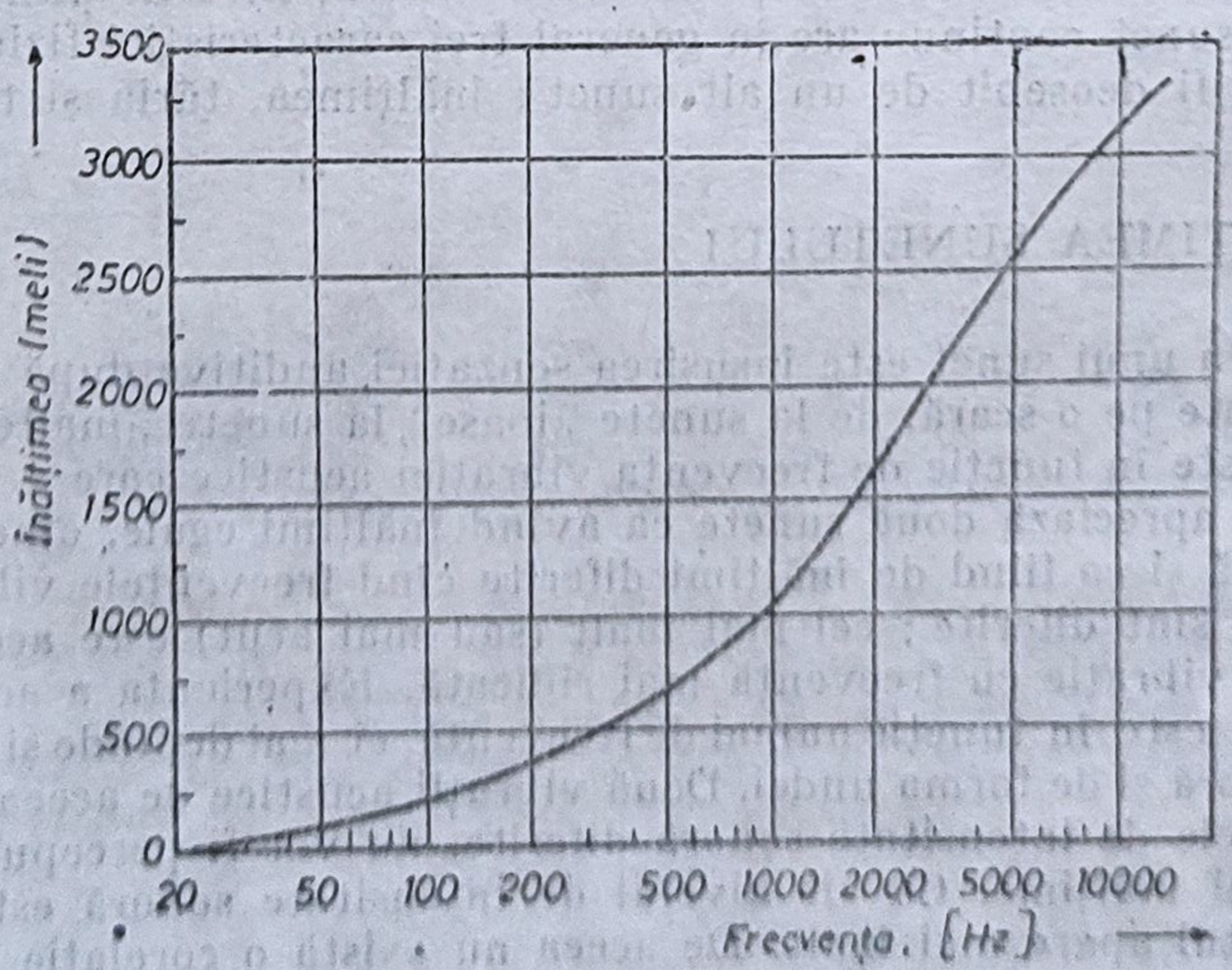


Fig. 2.11.

2.2.2. TĂRIA SUNETULUI

Tăria este acea însuşire a senzaţiei, legată de intensitatea acustică, care permite ordonarea sunetelor pe o scară, de la slabe la „puternice". Cu cît intensitatea acustică este mai mare, cu atît sunetul pare mai puternic. Dar tăria mai depinde şi de frecvenţa vibraţiei excitatoare şi de compoziţia sunetului. De exemplu, o vibraţie acustică sinusoidală avînd frecvenţa de 1 000 Hz şi un nivel de intensitate sonoră de 30 dB poate fi percepută ca sunet, în timp ce o vibraţie acustică de 100 Hz de acelaşi nivel de intensitate sonoră se situează sub limita de audibilitate şi în consecinţă nu poate fi percepută ca sunet.

Înţelegerea legăturii dintre intensitate şi tărie necesită cunoaşterea legii Weber-Fechner şi a noţiunii de nivel de tărie.

A. Legea Weber-Fechner

Relaţia între excitaţia acustică (mărime fizică) şi senzaţia auditivă produsă (mărime fiziologică) este destul de complicată. Sensibilitatea organului auditiv este de aşa natură încît vibraţiei acustice avînd o intensitate de două ori mai mare decît o altă vibraţie nu-i corespunde un sunet de două ori mai intens; sunetul corespunzător vibraţiei acustice cu intensitatea dublă apare ca fiind doar ceva mai tare decît sunetul corespunzător celeilalte vibraţii.

Studiind legătura care există între intensităţile senzaţiilor şi intensităţile excitaţiilor care le produc, Weber şi Fechner au stabilit o lege psiho-fizică. Conform acestei legi, creşterea minimă perceptibilă a excitaţiei este proporţională cu intensitatea excitaţiei, adică:

$$\frac{\Delta I}{\Delta N} = KI \tag{2.1}$$

unde I este *intensitatea excitaţiei* sau intensitatea acustică şi N este *intensitatea senzaţiei* sau tăria sunetului. Punînd această relaţie sub forma:

$$\Delta N = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta I}{I} \tag{2.2}$$

şi admiţînd că creşterile minime perceptibile ale senzaţiei sînt egale, se obţine prin integrare relaţia:

$$N = \frac{1}{K} \ln I \tag{2.3}$$

sau, trecînd la logaritmi zecimali,

$$N = C \log I, \tag{2.4}$$

care arată că intensitatea senzaţiei creşte cu *logaritmul* intensităţii excitaţiei Aşadar, dacă intensităţii de excitaţie (mărime fizică) I_1 îi corespunde intensitatea de senzaţie (mărime fiziologică) N_1, iar unei intensităţi I_2 ($I_2 > I_1$) îi corespunde intensitatea de senzaţie N_2, între aceste două mărimi se poate scrie relaţia:

$$N_2 - N_1 = C \log \frac{I_2}{I_1} \tag{2.5}$$

Deşi presupunerile pe baza cărora a fost stabilită această lege nu sînt riguros adevărate (în special creşterile minime perceptibile ale senzaţiei nu sînt absolut egale, lucru constatat experimental), ea are o deosebită importanţă, pentru că pe această lege logaritmică se bazează sistemul de măsurare a intensităţii sunetului şi măsurile de reducere a zgomotului.

B. Nivelul de tărie şi tăria

O altă mărime fiziologică corespunzătoare mărimii fizice nivel de intensitate sonoră este *nivelul de tărie*. Nivelul de tărie al unui sunet este nivelul de intensitate sonoră a unei vibraţii acustice de 1 000 Hz, apreciată de un ascultător otologic normal ca avînd aceeaşi tărie cu aceea a sunetului considerat. Expresia matematică a nivelului de tărie este :

$$\Lambda = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)_{f=1000\text{Hz}} = 10 \log \left(\frac{I}{I_{ref}} \right)_{f=1000\text{Hz}} \qquad (2.6)$$

unde p este presiunea acustică (I este intensitatea sonoră corespunzătoare) a unui sunet pur de 1 000 Hz apreciat de ascultător ca avînd o intensitate egală cu a sunetului considerat, iar $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ μbar şi $I_{ref} = 10^{-16}$ W/cm².

Unitatea de măsură a nivelului de tărie este *fonul*. În urma cercetărilor experimentale ale lui Fletcher şi Munson, au fost determinate şi trasate pe diagrama de audibilitate curbele de egal nivel de tărie (fig. 2.12), curbe cuprinse între cele două praguri care limitează posibilităţile de auz ale omului — pragul de audibilitate şi pragul senzaţiei dureroase. După cum se vede, la frecvenţa de 1 000 Hz nivelul de tărie în foni este egal cu nivelul de intensitate sonoră în decibeli.

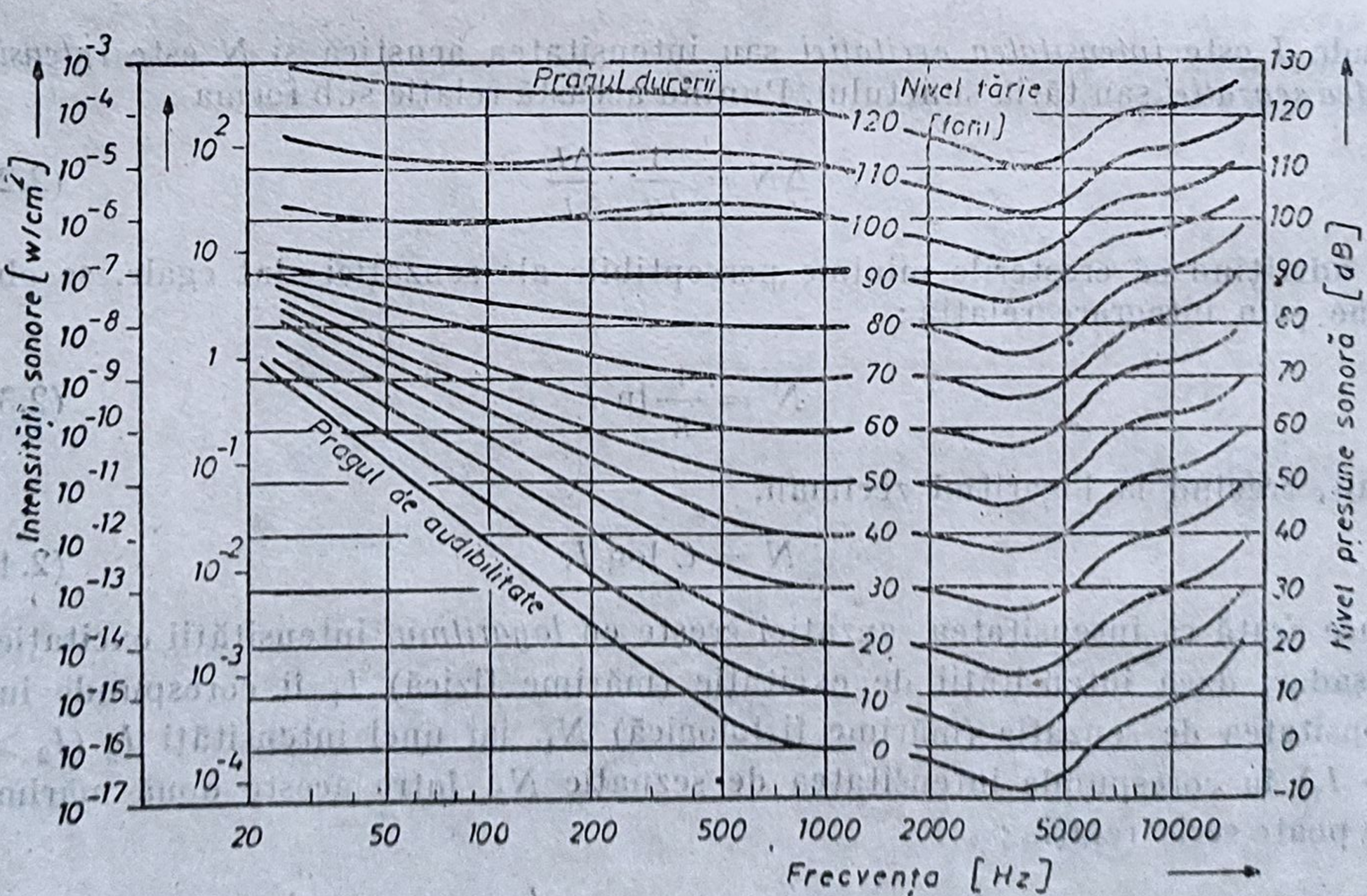


Fig. 2.12. Curbe de egal nivel de tărie (în cîmp liber).

La alte frecvențe această egalitate nu mai subzistă, așa după cum reiese din figură.

Două vibrații acustice de frecvențe neegale, de exemplu una de 400 Hz și a doua de 100 Hz, avînd însă același nivel de intensitate sonoră, produc senzații auditive de nivele de tărie *diferite*. Anume, sunetul corespunzător vibrației cu frecvența de 100 Hz este perceput cu nivel de tărie mai mic decît sunetul datorat vibrației cu frecvența de 400 Hz. Această diferență de tărie este mai accentuată în cazul cînd nivelele de intensitate sonoră sînt mai reduse. Cu toate acestea, la frecvențe mijlocii, o modificare de excitație de n dB antrenează de asemenea o modificare numerică corespunzătoare a senzației, de aproximativ n foni. Această corelație se utilizează mult în calculele de izolări fonice, în problemele de combaterea zgomotului etc.

Curbele de egal nivel de tărie care reprezintă corelația dintre excitație și senzația auditivă au fost stabilite în condițiile unui sunet pur, care se propagă de la sursă spre ascultător sub formă de undă plană, progresivă, într-un cîmp liber, sursa găsindu-se în fața ascultătorului. Cum în foarte multe cazuri ascultătorul nu se găsește într-un cîmp liber, ci într-un cîmp difuz sau foarte apropiat de cîmpul difuz (cazul obișnuit al audiției în spații închise), cercetările au căutat să stabilească și în acest caz o corelație între excitație și senzația auditivă, corelație care este dată sub formă grafică în fig. 2.13.

În această figură sînt reprezentate diferențele de nivel (pozitive sau negative), în funcție de frecvență, față de curbele de tărie stabilite pentru cazul propagării undei plane (propagate în cîmp liber) (fig 2.12).

Valoarea minimului perceptibil la variația nivelului de intensitate sonoră este necesar să fie cunoscută în numeroase probleme de apreciere subiectivă deoarece, după cum se constată din curbele din fig. 2.7, cu cît nivelul de intensitate este mai redus, cu atît trebuie produsă o variație mai mare a nivelului de intensitate sonoră ca organul auditiv să perceapă această variație.

În general, în domeniul uzual de frecvență (100 ÷ 10 000 Hz) se poate considera că o persoană percepe schimbarea tăriei sunetului atunci cînd nivelul intensității sonore a variat cu aproximativ 1 dB, dacă acest nivel este mai mare de 30 dB, și cu 2 ÷ 3 dB, dacă nivelul intensității sonore este mai mic de 30 dB.

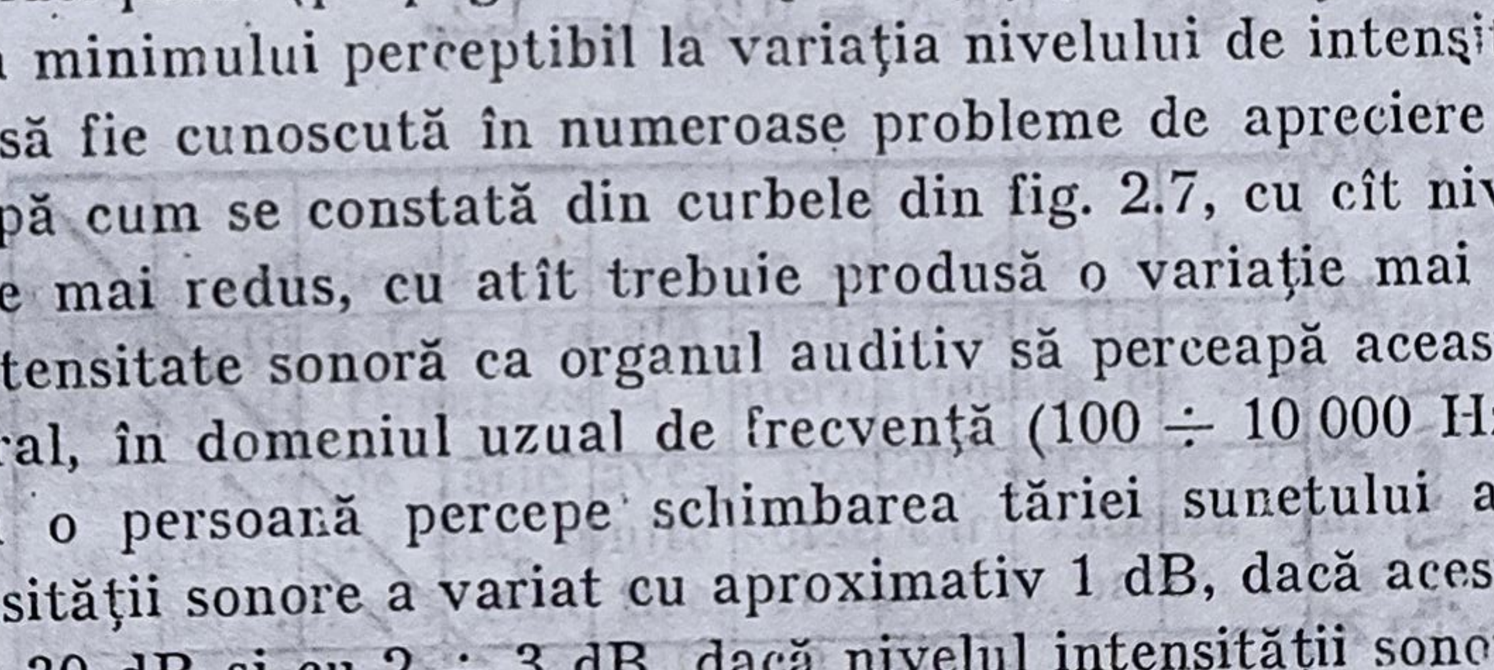


Fig. 2.13.

Cazul cel mai simplu este acela cînd sursele produc sunete pure de aceeași frecvență. Să considerăm, pentru o simplificare și mai mare a problemei o frecvență egală cu 1 000 Hz. Dacă un număr n de asemenea surse produc simultan sunete avînd intensitățile I_1, I_2, ... I_n, intensitatea acustică rezultată este

$$I_t = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$$

iar nivelul total de tărie

$$\Lambda_t = 10 \log \left[\frac{I_1 + I_2 + \ldots + I_n}{I_{ref}} \right]_{f=1000\,Hz} \tag{2.8}$$

În cazul a n surse identice, relația (2.8) se poate scrie

$$\Lambda_t = 10 \log \frac{nI}{I_{ref}} = \Lambda + 10 \log n, \tag{2.8'}$$

unde Λ este nivelul de tărie corespunzător unei singure surse. Cu alte cuvinte, atunci cînd un număr n de surse sonore identice emit simultan, nivelul de tărie total este egal cu nivelul de tărie corespunzător unei surse sonore la care se adaugă de zece ori logaritmul zecimal al numărului de surse.

De exemplu, nivelul de tărie produs de emisia simultană a două surse identice este

$$\Lambda_2 = \Lambda + 10 \log 2 = \Lambda + 3$$

deci nivelul de tărie crește cu 3 foni. În cazul a zece surse identice nivelul de tărie crește cu 10 foni.

În cazul a două surse care emit sunete de intensități diferite, sursa cea mai puternică este determinantă pentru nivelul de tărie rezultant. Cantitatea cu care crește nivelul de tărie depinde de diferența dintre nivelele de intensitate a sunetelor produse de sursele considerate. Pentru a o calcula considerăm două surse care produc sunete de 1 000 Hz avînd intensitățile I_1 și I_2. Nivelele de tărie corespunzătoare sînt:

$$\Lambda_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_{ref}} \right)_{f=1000\,Hz} \qquad \Lambda_2 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_{ref}} \right)_{f=1000\,Hz}$$

Nivelul de tărie total, corespunzător ambelor surse este:

$$\Lambda_t = 10 \log \left(\frac{I_1 + I_2}{I_{ref}} \right)_{f=1000\,Hz} \tag{2.9}$$

Relația se mai poate scrie:

$$\frac{I_1}{I_{ref}} + \frac{I_2}{I_{ref}} = 10^{\frac{\Lambda_t}{10}}$$

sau

$$10^{\frac{\Lambda_1}{10}} + 10^{\frac{\Lambda_2}{10}} = 10^{\frac{\Lambda_t}{10}}$$

notînd $\Lambda_2 = \Lambda_1 - d\Lambda$, rezultă:

$$10^{\frac{\Lambda_1}{10}} \left(1 + 10^{\frac{-d\Lambda}{10}} \right) = 10^{\frac{\Lambda_t}{10}}$$

de unde rezultă:

$$\Lambda_t = \Lambda_1 + 10 \log \left(1 + \frac{1}{10^{\frac{d\Lambda}{10}}} \right) \tag{2.9'}$$

Cum în cazul particular în care a fost stabilită relaţia (2.9′), adică pentru $f = 1\,000$ Hz, nivelul de tărie în foni este egal cu nivelul de intensitate sonoră în decibeli, se poate lua în calcule această ultimă mărime.

Cantitatea cu care creşte nivelul de tărie este dată de cel de-al doilea termen în partea dreaptă a relaţiei (2.9′).

Din această relaţie (care poate fi reprezentată grafic), se constată că, în cazul în care diferenţa nivelelor de intensitate acustică datorate celor două surse este mai mare de 10 dB, aportul sursei mai slabe este neglijabil. Nivelul de tărie obţinut este consecinţa radiaţiei mai puternice.

Acelaşi calcul este valabil şi în cazul în care două surse radiază cu aceeaşi putere, însă ascultătorul se găseşte plasat mai aproape de o sursă faţă de cealaltă. Datorită distanţei diferite, pentru el sunetul produs de sursa mai apropiată va avea o intensitate mai mare decît sunetul produs de sursa mai îndepărtată.

În cele de mai sus am făcut ipoteza că sursele produc sunete de aceeaşi frecvenţă. Calculele menţionate pot fi aplicate şi în cazul a două sunete complexe care prezintă un spectru de frecvenţă asemănător. Dacă însă frecvenţele celor două sunete sînt foarte diferite, cantitatea cu care creşte nivelul de tărie este mai mare cu 3 foni, putînd ajunge în anumite cazuri la 8 ÷ ÷ 10 foni.

2.2.4. TIMBRUL

Între sunete de aceeaşi înălţime şi tărie există totuşi o deosebire calitativă, atunci cînd sînt emise de surse diferite.

După caracterul senzaţiei auditive pe care o produc, sunetele se disting unele de altele şi se pot împărţi în trei grupe : sunete pure, sunete muzicale şi zgomote.

Sunetul pur este datorat unei vibraţii sinusoidale, fără nici o armonică. În natură, sunete pure se întîlnesc rar, însă producerea lor de către aparate electronice, în special pentru măsurările electroacustice, este întîlnită frecvent.

Sunetul muzical, este compus dintr-un sunet fundametal şi un număr diferit de armonici, fiind deci un sunet complex.

Caracteristica unui sunet muzical care depinde de structura armonică a acestuia se numeşte *timbru*.

Structura armonică a unui sunet muzical este exprimată prin numărul şi intensitatea componentelor superioare. Deoarece aceşti parametrii care se referă la sunetele superioare pot varia la infinit, şi nuanţele aceluiaşi sunet fundamental pot fi infinit variate.

S-a constatat experimental că timbrul unui sunet nu depinde de diferenţa de fază între componentele superioare sau între acestea şi vibraţia fundamentală.

Timbrul permite distingerea între ele a două sunete, avînd aceeaşi intensitate şi aceeaşi frecvenţă fundamentală dar care sînt emise de două instrumente diferite. Datorită timbrului putem distinge o aceeaşi notă produsă de o vioară sau un flaut.

S-a constatat însă că suprimarea părții tranzitorii inițiale din desfășurarea în timp a formării și menținerii sunetului face ca timbrul mai multor instrumente să devină același, deși înainte de suprimare era diferit pentru fiecare instrument în parte. Cercetări de aceeași natură au dovedit că, în afară de tărie, înălțime și timbru, senzația auditivă mai are și alte însușiri, determinate de regimul tranzitoriu din perioada de formare și cea de dispariție a sunetului, de durata emiterii sunetului și de uniformitatea cu care este emis. Modularea sunetului (sau „vibrato") este un caz de neuniformitate în emiterea lui, care echivalează cu o modulare a cărei frecvență este de circa 7 Hz. Din bătăile produse de frecvențele apropiate rezultă creșteri și scăderi ale intensității sonore, care contribuie la înfrumusețarea sunetului.

Capitolul 3

Noţiuni de bază ale stereofoniei

O însuşire importantă a omului constă în posibilitatea localizării în spaţiu a unei surse sonore, prin determinarea cu precizie a direcţiei sursei şi aprecierea distanţei de la sursă la ascultător. Această însuşire deosebită are la bază audiţia binaurală şi audiţia inteligentă şi îi permite omului ca atunci cînd ascultă direct un ansamblu de surse sonore dispuse într-o anumită ordine în spaţiu, ca de exemplu o orchestră, să stabilească cu foarte mare exactitate *cîmpul sonor* complex creat de aceste surse, putînd localiza în orice moment fiecare instrument în parte fără a-l şi privi. De asemeni, poate determina foarte bine mişcarea unei surse sonore în spaţiu (fără a privi, de exemplu, plimbarea unui solist dintr-o parte în alta a scenei).

În momentul în care între ascultător şi ansamblul de surse sonore (orchestră) se interpune o instalaţie tehnică de captare-redare a sunetului monofonic (pentru mărirea puterii acustice radiate în spaţiu), se pierde informaţia de direcţie şi într-o anumită măsură şi cea de distanţă, toate sursele sonore (instrumentele) apărînd concentrate în jurul unui punct în spaţiu. Pentru înlăturarea acestor deficienţe s-a creat o tehnică specială de captare-reproducere numită *stereofonie*, prin care se asigură aceleaşi posibilităţi auditive de localizare, în adîncime şi după direcţie, a surselor sonore ca şi în cazul ascultării directe a surselor reale. Prin acest procedeu tehnologic de captare-redare se obţine refacerea cît mai fidelă a reliefului cîmpului sonor iniţial cu caracterul distinctiv al sunetelor naturale şi lărgirea spaţiului prin reperaj direcţional şi de adîncime.

Deci o instalaţie tehnică de captare şi redare stereofonică a sunetului trebuie să asigure condiţiile necesare pentru ca ascultătorul să poată asculta cîmpul sonor original, cît mai fidel şi cît mai apropiat de realitate.

La baza realizării captării şi reproducerii stereofonice a sunetului se află posibilitatea mijloacelor tehnice de a capta şi reproduce mai multe informaţii simultan.

3.1. LOCALIZAREA AUDITIVĂ A UNEI SURSE SONORE

La un om cu auzul normal, la audiţia directă binaurală, sunetul acţionează separat şi diferit asupra celor două urechi ale ascultătorului, care transmit semnalul simultan şi independent, pe căi diferite, la centrii auditivi din creier unde se formează senzaţia auditivă.

Să presupunem că în faţa unui ascultător otologic normal o sursă sonoră este situată la dreapta, într-o direcţie făcînd unghiul θ cu axa capului ascultătorului.

În acest caz intervin trei parametrii care diferenţiază percepţiile la cele două urechi: diferenţa de timp Δt, diferenţa de intensitate ΔI şi diferenţa spectrală ΔC_s. Ele vor fi analizate pe rînd.

3.1.1. DIFERENŢA DE TIMP

Diferenţa de timp a sosirilor la cele două urechi a unui aceluiaşi front de undă este echivalentă cu diferenţa de fază între frontul undei în dreptul urechii stîngi şi a urechii drepte. Relaţia între diferenţa de timp Δt şi diferenţa de fază $\Delta\Phi$ este:

$$\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{\omega} = \frac{\Delta\Phi}{2\pi f} \qquad (3.1)$$

Diferenţa de timp Δt se deduce din fig. 3.1 unde s-a simulat capul uman cu o sferă şi s-a notat unghiul de incidenţă cu θ; rezultă pentru diferenţa de drum dintre cele două urechi, notată cu ΔS, următoarea expresie:

$$\Delta S = R(\theta + \sin\theta) \qquad (3.2)$$

unde R este raza capului şi pentru simplificarea formulei s-a considerat că sursa de sunet este foarte îndepărtată, astfel încît undele sonore incidente la cele două urechi sînt paralele. Din relaţia (3.2) se deduce diferenţa de timp Δt între sosirile frontului de undă la cele două urechi, care are următoarea expresie:

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{c} = \frac{R}{c}(\theta + \sin\theta) \approx \frac{2R}{c}\sin\theta, \qquad (3.3)$$

unde c este viteza sunetului în aer.

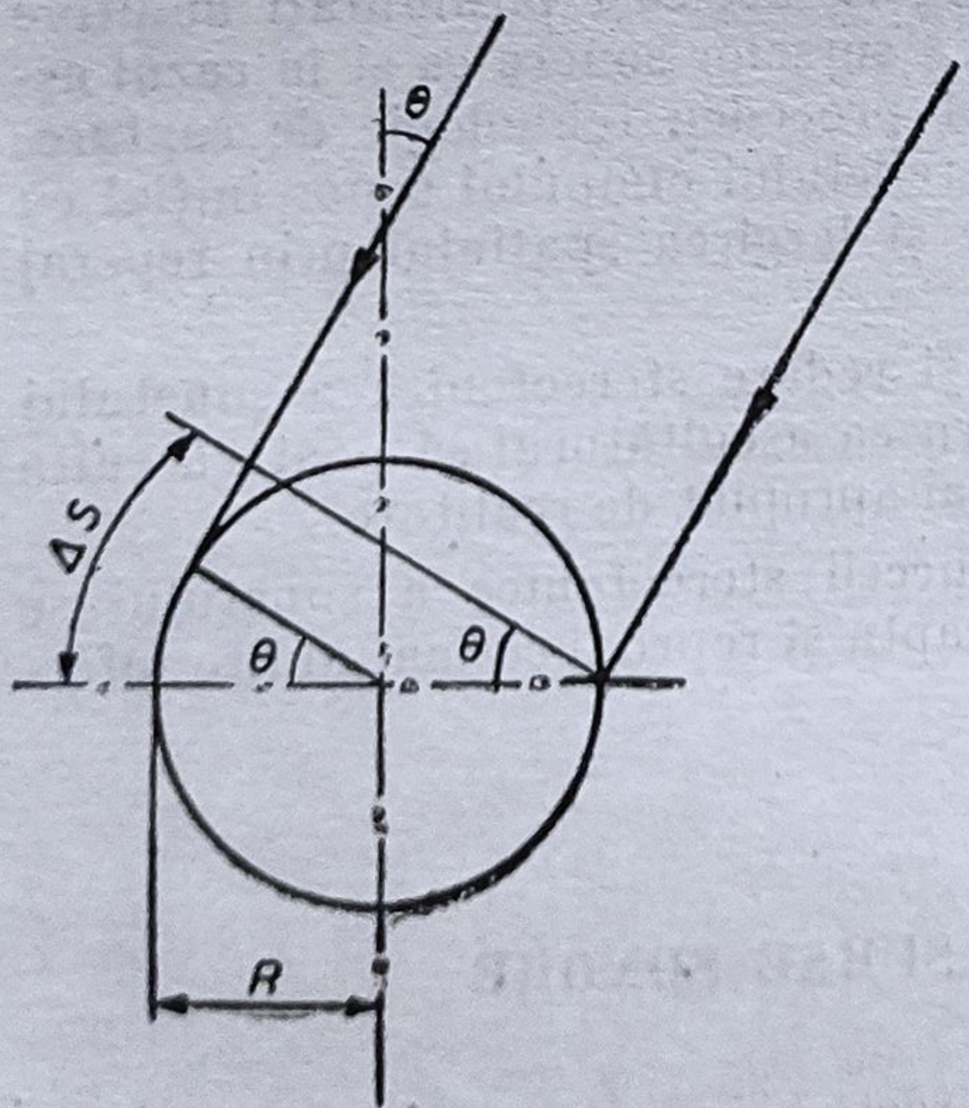


Fig. 3.1. Determinarea diferenţei de drum ΔS a unui front de undă emis sub un unghi θ de o sursă de sunet situată la o distanţă foarte mare.

Variaţia de timp Δt în funcţie de unghiul de incidenţă θ este indicată în fig. 3.2. Se observă că diferenţa de timp este mică în cazul surselor sonore apropiate de axa de simetrie a capului, adică pentru un unghi apropiat de 0°.

Pentru verificarea practică a relaţiei (3.3) s-a făcut experienţa inversă de provocare a senzaţiei de localizare a imaginii sonore prin decalaje de timp binaurale artificiale. În acest scop s-a aplicat unui ascultător, prin intermediul a două căşti identice, un semnal la o ureche, iar la cealaltă acelaşi semnal căruia i s-a provocat un decalaj temporal Δt, semnalele fiind de aceeaşi intensitate. Sursa întrebuinţată a fost „vorba".

Variindu-se decalajul, ascultătorul a avut impresia că sursa sonoră se găseşte în diferite direcţii α pentru

diferite decalaje temporale. Curba rezultată este prezentată în fig. 3.2, curba *b* și diferă puțin de cea teoretică. Cu alte cuvinte, unghiul α nu reprezintă riguros exact localizarea reală a sursei (unghiul θ). S-a constatat că pînă la 90° unghiul α e mai mic ca cel dat de formula teoretică pentru același Δt. Depășind 90°, α este mai mare. Creîndu-se un decalaj de 0,65 ms, imaginea sursei se deplasează cu 90°, unghi ce se menține și pentru decalaje mai mari pînă la 1,2 ms.

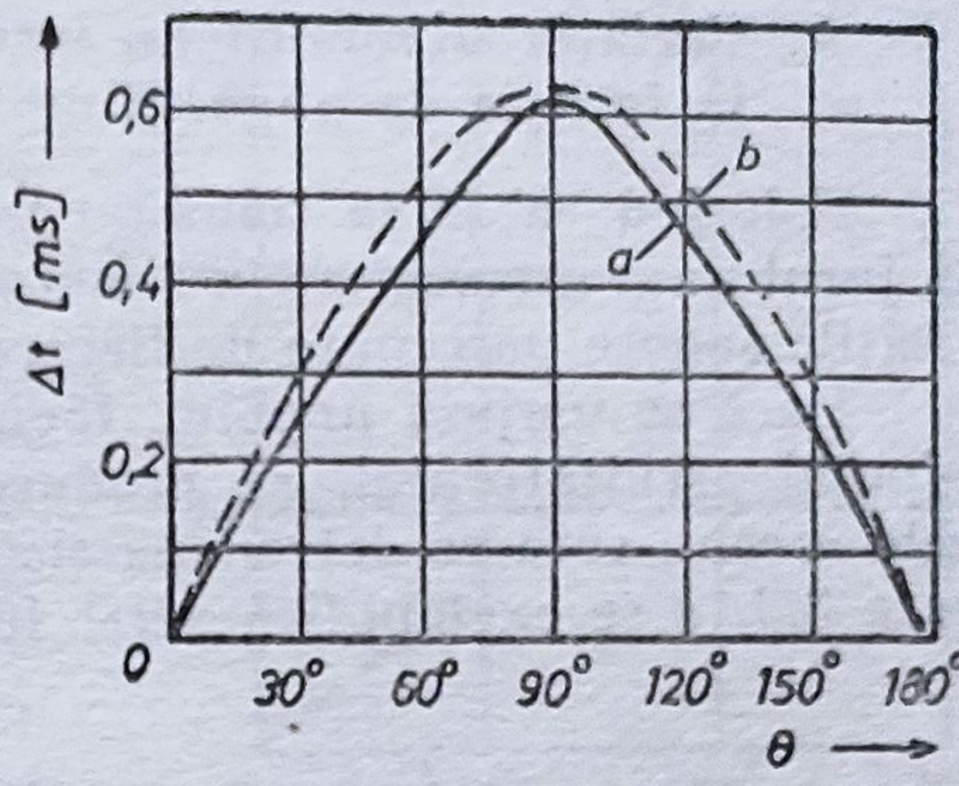


Fig. 3.2. Variația diferenței de timp Δt în funcție de unghiul de incidență θ
a) curba teoretică; *b*) curba experimentală.

Crescînd valoarea decalajului peste 1,2 ms, efectul de directivitate dispare și în cele două căști se aud distinct două semnale diferite în timp.

În privința preciziei localizării sursei de sunet, care este de obicei mai mare în direcția axei de simetrie a capului, s-a constatat experimental că se poate ajunge pînă la valori ale lui Δt de 0,03 ms, ceea ce înseamnă o diferență de drum de 1 cm sau un unghi de situare laterală a sursei sonore $\theta = 3°$. Considerînd deci, pe de o parte această valoare de 0,03 ms ca limită inferioară de precizie pînă la care se pot percepe deplasările virtuale ale imaginii sonore și pe de altă parte ținînd seama de relația (3.3) rezultă că se pot localiza surse de sunet — fără întoarcerea capului — cu o precizie de 3° pentru unghiuri pînă la 30°, cu o precizie de 5° pentru unghiuri între 30° și 60° și, în sfîrșit, cu o precizie de 13° pentru un unghi între 60° și 80°. Aceste valori duc la concluzia că pentru un unghi de incidență cuprins între 60° și 90° se poate localiza sursa sonoră cu suficientă precizie, numai la întoarcerea capului cu aproximativ 30°.

Dacă cu ajutorul relației (3.1) se trece la relația de fază ($\Delta\Phi = \omega\Delta t = 2\pi f\Delta t$) se observă că diferența de fază este cu atît mai mare cu cît unghiul θ este mai mare, fiind o relație de proporționalitate între $\Delta\Phi$ și Δt.

Pentru $\theta = 0$, adică cazul undelor sonore situate în planul median, diferența de fază este nulă și frontul undei ajunge în același timp la cele două urechi. De asemenea cu cît distanța între cele două urechi este mai mare cu atît diferența de fază este mai pronunțată.

Pe măsură ce frecvența sunetului crește, intervalele de timp între sosirile frontului undei sînt mai mici, mai greu de interpretat și în consecință localizarea direcției este mai dificilă. De aceea, se consideră că pe baza diferenței de fază nu se poate localiza cu precizie direcția sursei, decît pentru surse ale căror frecvențe sînt mai mici de 800 Hz.

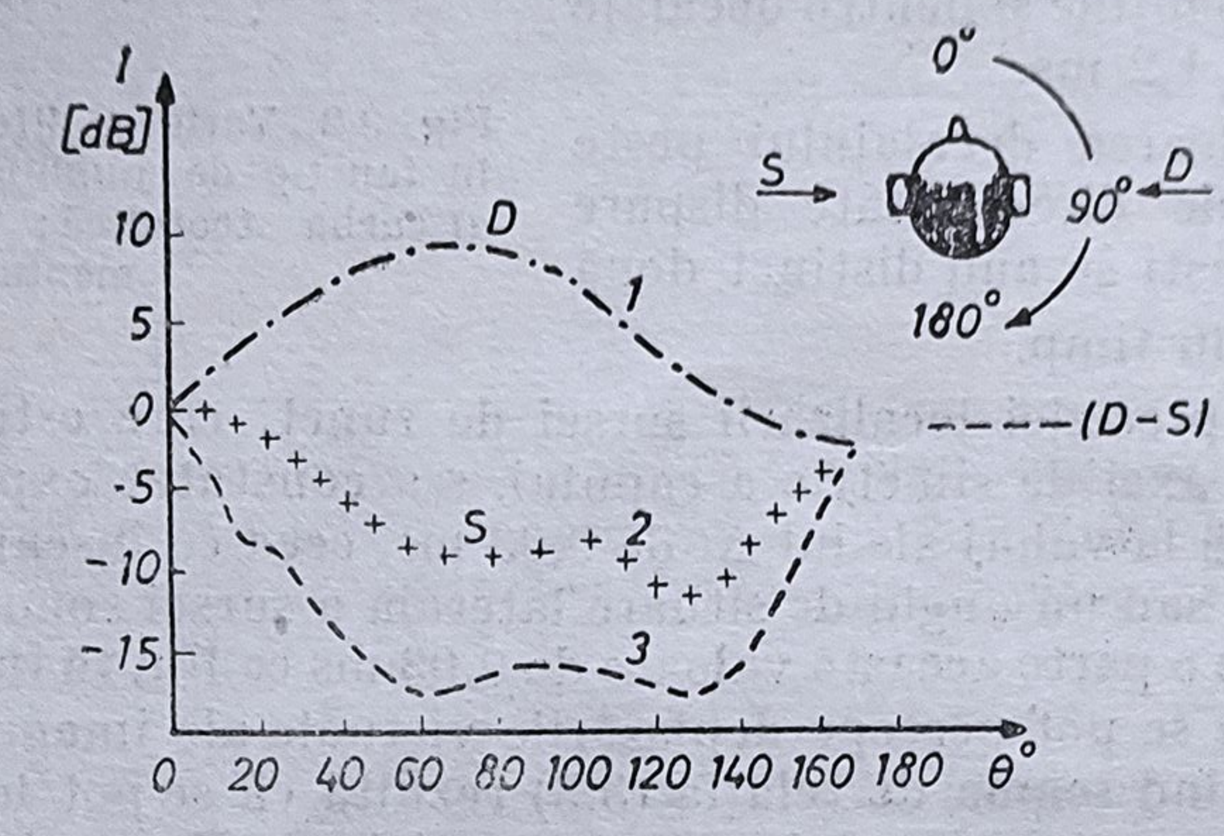
3.1.2. DIFERENȚA DE INTENSITATE

În domeniul frecvențelor înalte (peste 3 000 Hz) diferența de nivel între cele două urechi este cauza definirii direcției deoarece, prin faptul că lungimea de undă devine comparabilă cu dimensiunile capului, fenomenul de difracție și de atenuare a undei este mult mai evident. Pentru asemenea sunete, capul ascultătorului constituie un obstacol efectiv. La frecvențe înalte, diferențele nivelului de intensitate sonoră la cele două urechi pot fi de ordinul 20 ÷ ÷ 30 dB.

A. Variaţia nivelului de intensitate sonoră ΔI între cele două urechi în funcţie de unghiul de incidenţă

Folosind ca sursă sonoră vorba (un crainic care se roteşte pe un cerc în jurul unui ascultător, în timp ce vorbeşte cu intensitate constantă), intensităţile sonore percepute de fiecare ureche a ascultătorului vor varia.

Dacă se variază unghiul, făcînd să se rotească sursa de semnal în jurul capului ascultătorului, se produce o variaţie a intensităţii sonore la ambele urechi, ceea ce determină şi o variaţie a diferenţei de intensitate. În figura 3.3, *a* se exemplifică acest fenomen, sunetul de probă fiind un semnal



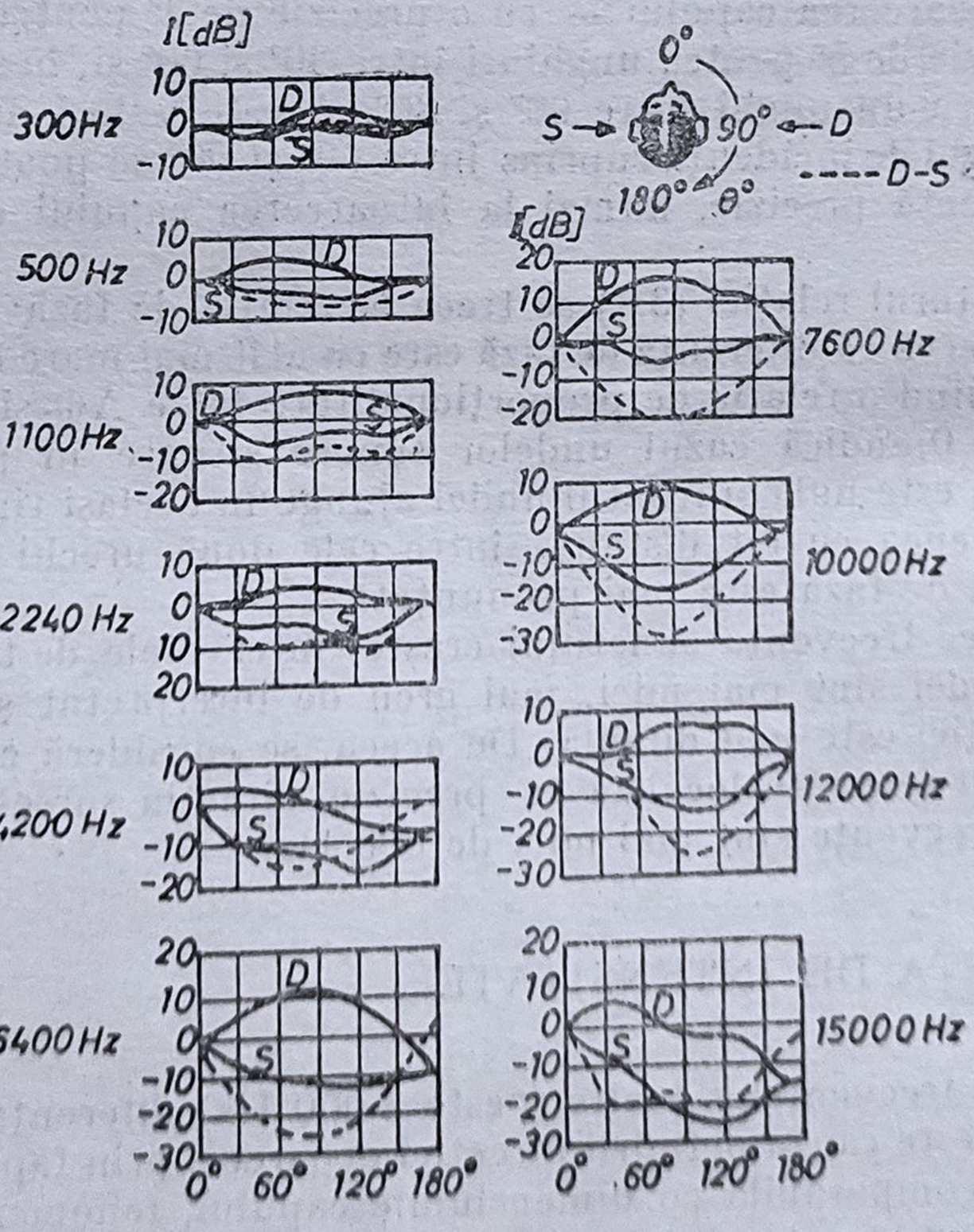


Fig. 3.3. *a*) Variaţia intensităţilor sonore la cele două urechi pentru diverse unghiuri de incidenţă θ ale frontului de undă sonoră; *b*) Variaţia intensităţii sonore aurale cu unghiul de incidenţă θ al sursei (vorbă) la diferite frecvenţe.

corespunzător vorbei. În această figură sînt indicate intensităţile la cele două urechi (cea apropiată de sursă — curba *1*, cea depărtată — curba *2*) şi diferenţa de intensitate între semnalele sonore care ajung la ambele urechi (curba *3*). Se observă că diferenţa de intensitate este nulă în cazul în care sursa de sunet este situată la un unghi de 0° sau 180°, adică atunci cînd se află pe axa de simetrie a capului ascultătorului. Diferenţa de intensitate este maximă în jurul valorii de 90°, cînd una dintre cele două urechi este în poziţia cea mai apropiată de sursă. Observîndu-se deci că deplasarea sursei sonore în jurul ascultătorului creează diferenţa de intensitate, s-a căutat să se obţină deplasarea virtuală a unei surse sonore în funcţie de diferenţa de intensitate a sunetului. Într-adevăr, experienţele au arătat că dacă se aplică urechilor ascultătorului, prin intermediul unor căşti, semnalele de amplitudini diferite, se creează senzaţia de deplasare a imaginii sonore.

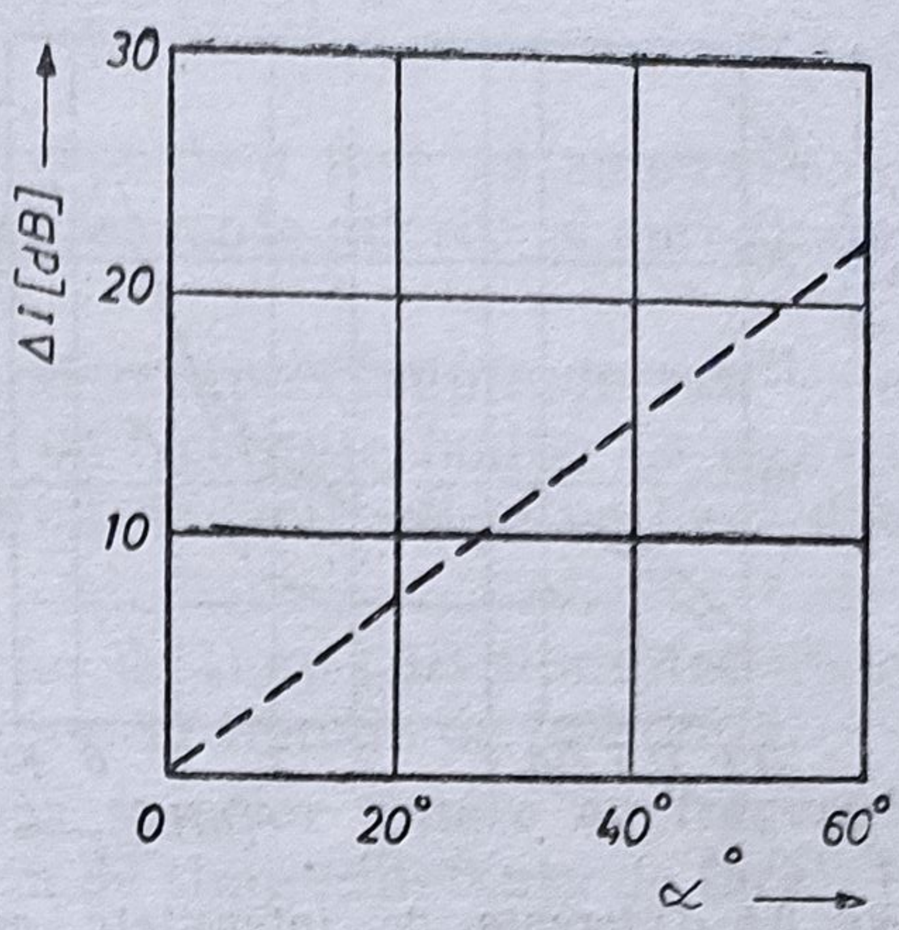


Fig. 3.4. Variaţia unghiului α de situare laterală a imaginii sonore în funcţie de diferenţa intensităţilor sonore la cele două urechi.

În figura 3.4 este prezentat modul de variaţie a unghiului de deplasare a imaginii sonore α în funcţie de intensitatea ΔI, ca rezultat al unor încercări subiective. Se observă pe această figură că, de exemplu, pentru o valoare a diferenţei de intensitate la cele două urechi de 15 dB se obţine o deplasare a sursei sonore virtuale cu 40°. Deplasarea imaginii sonore se face în stînga sau în dreapta axei de simetrie a capului ascultătorului, după cum semnalul sonor mai puternic se aplică la urechea stîngă, respectiv la cea dreaptă.

Pentru semnalele sinusoidale s-a mai observat că precizia maximă de localizare a sursei de sunet se obţine pentru frecvenţe superioare celei de 5 000 Hz. În fig. 3.3, *b* s-a prezentat variaţia de intensitate la cele două urechi, la diferite frecvenţe, pentru vorbă, din care rezultă aceeaşi concluzie.

În cazul folosirii unor frecvenţe mai mici decît acesta, va exista o abatere în determinarea direcţiei sursei fictive, imaginea sonoră situîndu-se lateral, la un unghi mai mic decît cel din realitate. Devierea faţă de poziţia reală va fi cu atît mai mare cu cît frecvenţa va fi mai mică.

B. Variaţia nivelului de intensitate sonoră ΔI între cele două urechi în funcţie de frecvenţă

Pentru stabilirea relaţiei între ΔI şi f, s-a folosit ca sursă sonoră un difuzor alimentat de un generator de ton (sinusoidal), a cărei frecvenţă a fost variată de la 300 Hz la 10 kHz. Sursa a fost deplasată cu unghiul θ faţă de axa unui cap artificial avînd două microfoane, şi s-a stabilit diferenţa de intensitate a sunetului în decibeli, la nivelul urechilor, în funcţie de frecvenţă, pentru diferite valori ale unghiului θ (30°, 60°, 90°); curbele rezultate sînt arătate în fig. 3.5.

Cercetările au căutat să precizeze minimul de variaţie a direcţiei perceptibil de organul auditiv al omului, definit prin valoarea $\Delta\theta$ a variaţiei unghiului azimutal. S-a constatat că $\Delta\theta$ variază cu unghiul azimutal şi cu

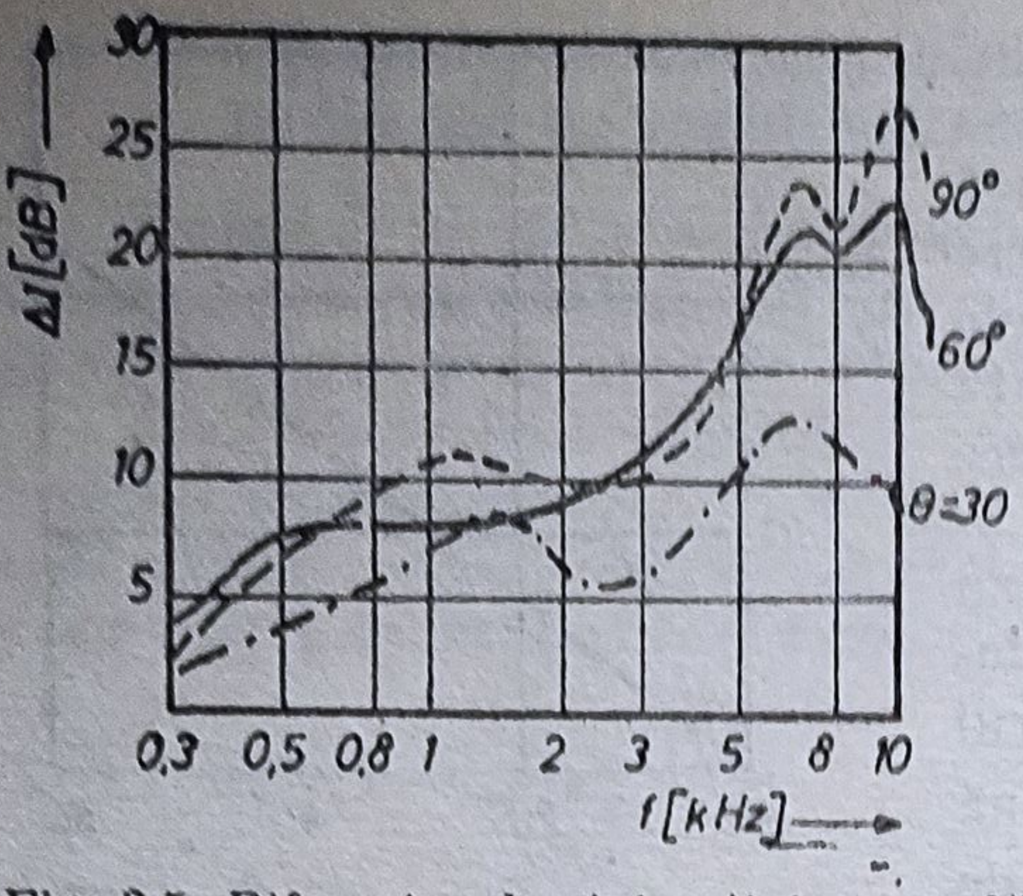
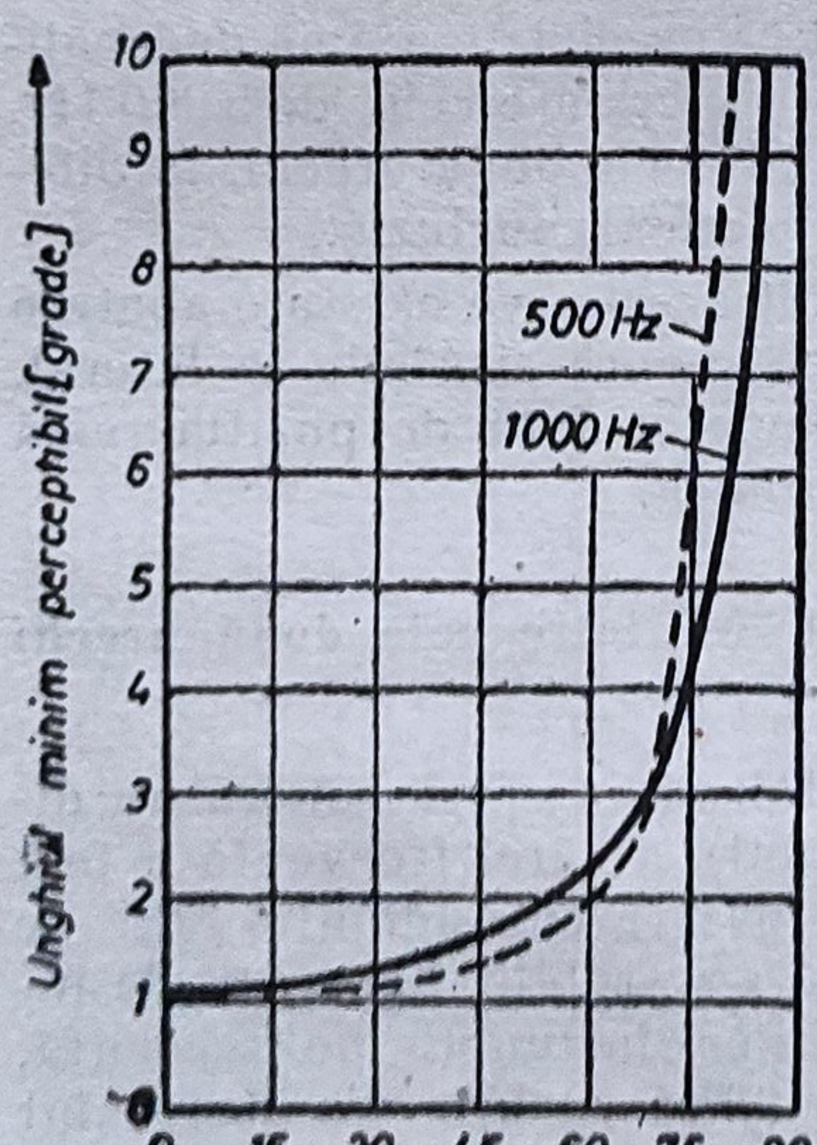


Fig. 3.5. Diferența de intensitate auriculară la cele două urechi în funcție de frecvență, pentru diverse unghiuri de incidență

frecvența vibrației acustice excitatoare. Unghiul minim perceptibil ($\Delta\theta_{max}$) este de aproximativ 1° pentru o sursă sonoră așezată în planul median și emițînd un sunet cu o frecvență cuprinsă între 500 și 1 000 Hz. Pe măsură ce azimutul crește, unghiul apropiindu-se de 90°, valoarea lui $\Delta\theta$ crește foarte repede. În cazul limită $\theta = 90°$, cu alte cuvinte atunci cînd sursa sonoră se găsește pe direcția celor două urechi ale ascultătorului, pragul de percepere a variației azimutului devine nedeterminant (fig. 3.6, *a*).

Menținînd unghiul azimutal θ constant și mărind progresiv frecvența vibrațiilor acustice excitatoare, se constată că, atunci cînd aceasta depășește 1 000 Hz, valoarea lui $\Delta\theta$ crește în mod rapid, atingînd un maxim în vecinătatea frecvenței de 3 000 Hz. Depășind această frecvență, $\Delta\theta$ scade. Cu alte cuvinte organul auditiv poate percepe schimbări mai reduse ale direcției sonore, însă în vecinătatea frecvenței de 8 000 Hz se observă un al doilea maxim (fig. 3.6, *b*).

În domeniul sunetelor de frecvențe mijlocii, definirea direcției sursei sonore este mai dificilă datorită faptului că nici diferența de intensitate, nici diferența de timp nu sînt marcante, concluzia fiind că în acest domeniu ambele fenomene, care sînt cumulative, definesc direcția.



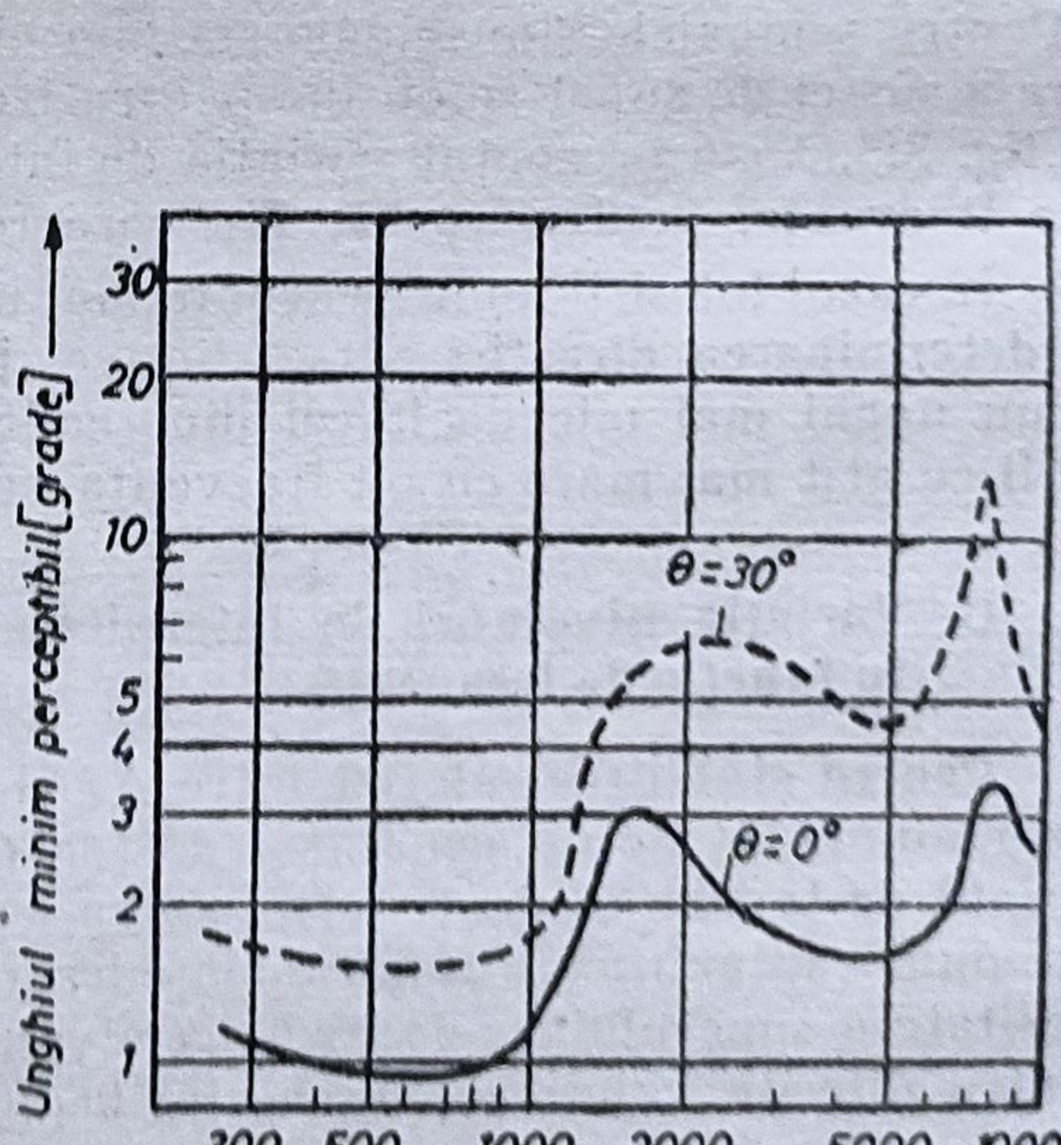


Fig. 3.6.

3.1.3. DIFERENŢA DE COMPONENŢĂ SPECTRALĂ

După cum este cunoscut, în realitate avem de-a face cu sunete complexe, care se definesc printr-o multitudine de frecvenţe diferite şi amplitudini de diferite intensităţi.

Dar componenţa spectrală a unui semnal complex cuprinde atît componente de frecvenţe joase cît şi componente de frecvenţe înalte. Ca urmare, localizarea sursei se face atît pe baza diferenţei de timp cît şi pe baza diferenţei de intensitate.

În fig. 3.7, se arată contribuţia diferenţelor de timp (Δt) şi a diferenţelor de intensitate (ΔI) în localizarea surselor sonore, în funcţie de frecvenţă.

Din acest grafic rezultă că la localizarea surselor sonore cu frecvenţe pînă la 800 Hz are importanţă numai diferenţa de timp (diferenţa de fază), în domeniul frecvenţelor medii (800 ÷ 2 000 Hz) au importanţă atît diferenţa de timp cît şi diferenţa de intensitate iar în domeniul frecvenţelor de peste 2 000 Hz contează numai efectul diferenţei de intensitate. Datorită diferenţelor de timp şi a diferenţelor de intensitate a componentelor spectrale ale semnalelor percepute de cele două urechi, rezultă că se poate localiza fără dificultăţi orice sursă de semnal complex, însă se produce o modificare a timbrelor sunetelor complexe, care excită cele două urechi, rezultînd senzaţia unui sunet complex cu timbru diferit de cel real.

Diferenţa între timbrul sunetului perceput de ascultător şi timbrul real al acestuia este cu atît mai mare cu cît unghiul de incidenţă format de direcţia sursei cu axa de simetrie a capului este mai mare. Ca urmare, pentru a nu altera sensibil timbrul semnalului complex perceput, se recomandă ca acest unghi să nu depăşească 60°, ceea ce este suficient pentru cele mai complexe surse de semnal întîlnite în practică.

Experienţa arată că stabilirea direcţiei surselor de sunete pure este mult mai dificilă decît aprecierea direcţiei surselor de sunete complexe sau zgomote, fiind mai precisă pentru sunetele pure care depăşsc 5 000 Hz.

Analiza fenomenului directivităţii surselor sonore complexe prin diferenţa de timp este uşurată de faptul că în natură majoritatea sunetelor sînt tranzitorii, avînd fronturile de undă bine individualizate. Astfel, diferenţa de timp de sosire la urechi (decalajul temporal) se recunoaşte oricare ar fi timpul ce separă fronturile de undă succesive.

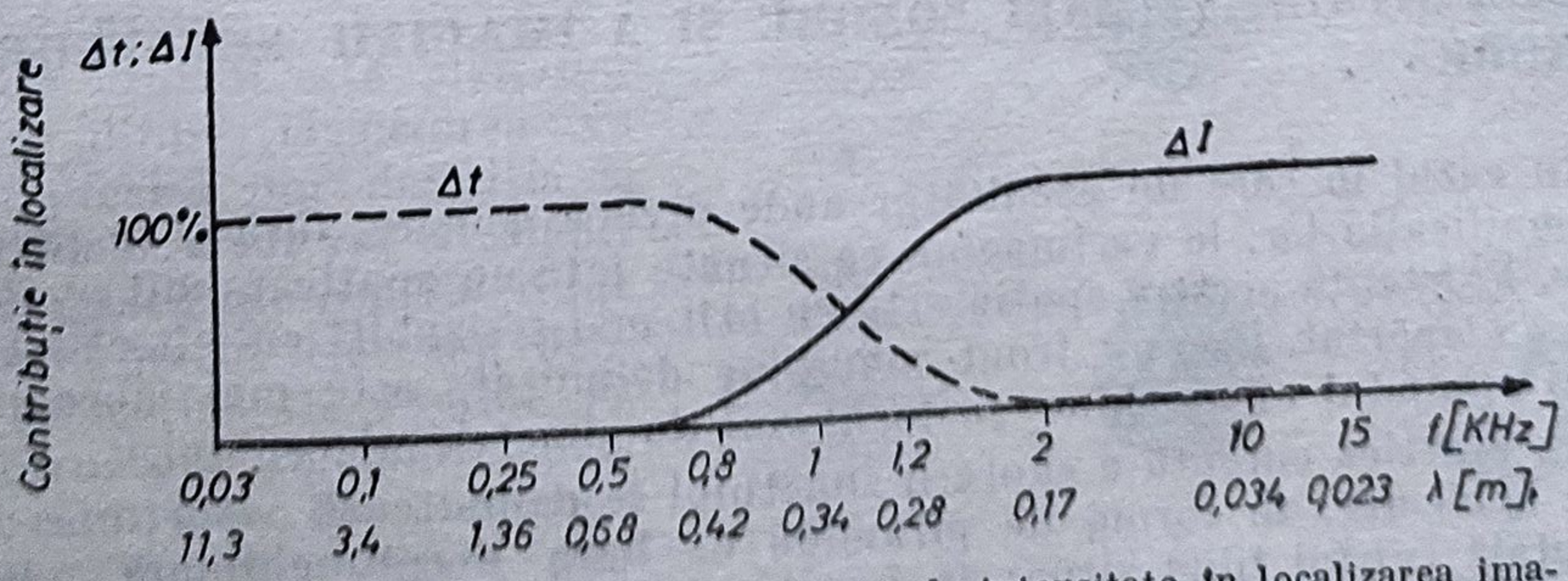


Fig. 3.7. Contribuţia diferenţelor de timp şi de intensitate în localizarea imaginii sursei sonore.

3.1.4. PERCEPEREA DISTANȚEI

Așa cum s-a arătat, omul are posibilitatea să localizeze cu precizie destul de bună direcția unei surse sonore atunci cînd unghiul de incidență a direcției sursei cu axa de simetrie a capului nu depășește 60°.

Perceperea și aprecierea distanței la care se găsește sursa față de ascultător este o operație mai puțin precisă și fenomenul este încă puțin cunoscut.

Cercetările efectuate pînă în prezent au arătat că ascultătorul stabilește distanța la care se află o sursă sonoră pe baza comparării nivelului de intensitate sonoră dintre sunetul direct și sunetul reflectat (reverberat). Atunci cînd nivelul de intensitate sonoră este mai mare sau cînd valoarea raportului dintre sunetul direct și sunetul reflectat crește ascultătorul are impresia că sunetul provine dintr-un loc mai apropiat. Ca urmare rezultă că aprecierea distanței la care se află sursa sonoră este destul de imprecisă cînd audiția se face în aer liber. În cazul audiției într-un spațiu închis, aprecierea distanței este cu atît mai bună cu cît nivelul sursei este mai mare și cu cît încăperea respectivă este mai reverberantă. De asemenea aprecierea este mai bună în cazul în care distanța dintre sursă și ascultător este mai mică și atunci cînd amplasarea ascultătorului față de sursă se află orientată spre centrul încăperii în care are loc audiția.

Experiențele au arătat că în aprecierea distanței intervin cu pondere destul de importantă și procesele tranzitorii care au loc, în special la frecvențele joase ale spectrului sonor, precum și forma frontului de undă. Deci distanța față de sursă este apreciată mai corect în cazul în care aceasta emite sunete cu intermitență și atunci cînd frontul de undă este bine conturat, deci în cazul în care sursa se apropie foarte mult de o sursă punctiformă.

Aprecierea distanței la care se află sursa sonoră față de ascultător depinde și de frecvența sunetului și anume precizia este mai bună pentru sursele care emit sunete cu frecvențe joase și mai mică pentru sursele care emit sunete cu frecvențe înalte. Cum majoritatea surselor existente în realitate emit sunete complexe care au și componente joase, rezultă că există posibilitatea aprecierii distanței cu o precizie mai mare sau mai mică în funcție de factorii enumerați anterior.

Aprecierea distanței sursei față de ascultător are importanță pentru aprecierea profunzimii imaginii cîmpului sonor creat, atunci cînd necesitățile practice reclamă această necesitate.

3.2. DELIMITAREA SCENEI SONORE ȘI A IMAGINII SURSELOR SONORE

În cazul în care un ascultător aude diverse sunete, fără a se preocupa de semnificația lor, le va imagina ca situate într-un spațiu numit *spațiu subiectiv.* Existența acestui spațiu este cu atît mai sesizabilă cu cît el este mai puțin îndepărtat, are un front mai bine delimitat, este mai aproape de planul orizontal al urechilor și de planul de simetrie al capului.

În practica curentă a captării sunetului se delimitează o porțiune a spațiului subiectiv, în formă de piramidă cu baza dreptunghiulară, cu axa orizontală (vîrful fiind situat la capul ascultătorului) și avînd o adîncime de 10 m, care se numește *scenă sonoră* (fig. 3.8). Pentru simplificarea repre-

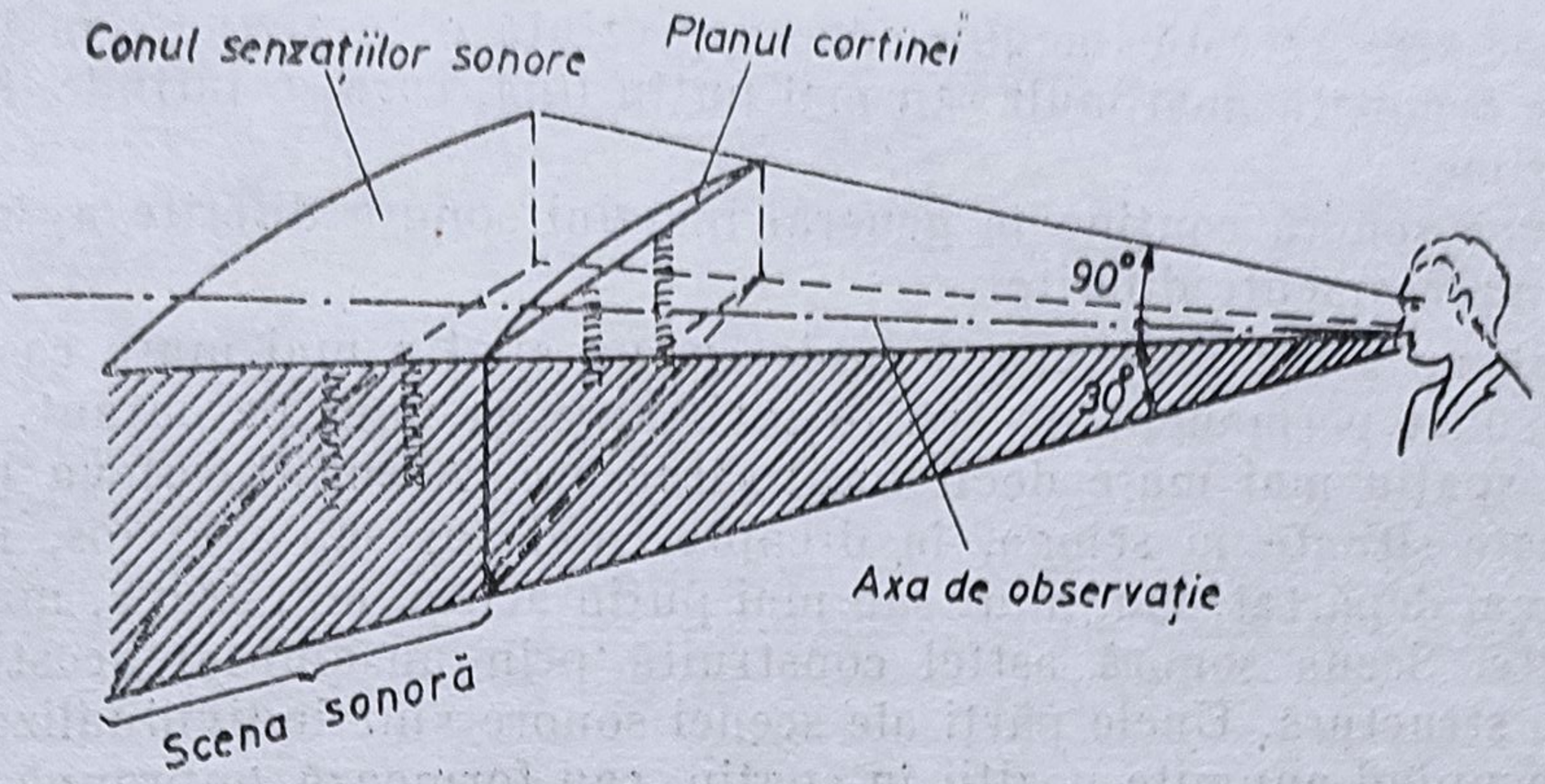


Fig. 3.8. Scena sonoră.

zentării se consideră secțiunea acestui spațiu printr-un plan vertical, perpendicular pe axa de observație (axul orizontal din planul de simetrie al capului trecînd printre urech') și plasat cu cîțva metri înaintea ascultătorului.

Senzațiile sonore vor fi situate în înălțime, direcție și profunzime față de acest plan și vor constitui *scena sonoră subiectivă*.

Un plan perpendicular pe axa de observație care face parte din scena sonoră formează un *plan sonor*.

La audiția directă în spațiu, sursele reale produc sunete ce pot fi mai concentrate (instrumente de percuție, suflat etc.) sau mai difuze (ambiante sonore). Aceste surse sonore sînt percepute subiectiv, ca imagini ale acestor surse, ascultătorul recunoscînd caracterul lor (concentrat sau difuz) precum și localizarea lor.

Imaginile sonore pot fi mai concentrate sau mai difuze, cu un caracter mai bine sau mai slab delimitat, mai dense sau mai puțin dense, pot avea poziții mai precis definite sau foarte vagi etc. În fig. 3.9 se arată o reprezentare grafică a subiectelor sonore, ale căror poziții în spațiu sînt precise (*d*, *e*, *f*) sau imprecise (*a*, *b*, *c*) avînd un contur net (*c*, *f*) sau difuz (*a*, *d*). dense (*b*, *e*) sau puțin dense (*a*, *c*, *d*, *f*).

Imaginile surselor sonore prezintă o localizare cu atît mai precisă cu cît spațiul subiectiv este perceput mai clar, cu un contur mai precis, delimitat. Dacă și centrul este clar și conturul precis, nu numai localizarea dar și relieful local vor fi mai pronunțate.

Dacă centrul este clar, dar conturul difuz, localizarea va rămîne precisă dar definiția și relieful sonor local vor fi slabe. Dacă imaginea are centrul difuz și conturul precis, clar sau delimitat subiectul va rămîne cu relief. Structura imaginii sursei sonore este dată de ansamblul imaginilor surselor sonore percepute simultan de ascultător care sînt deci precise, difuze

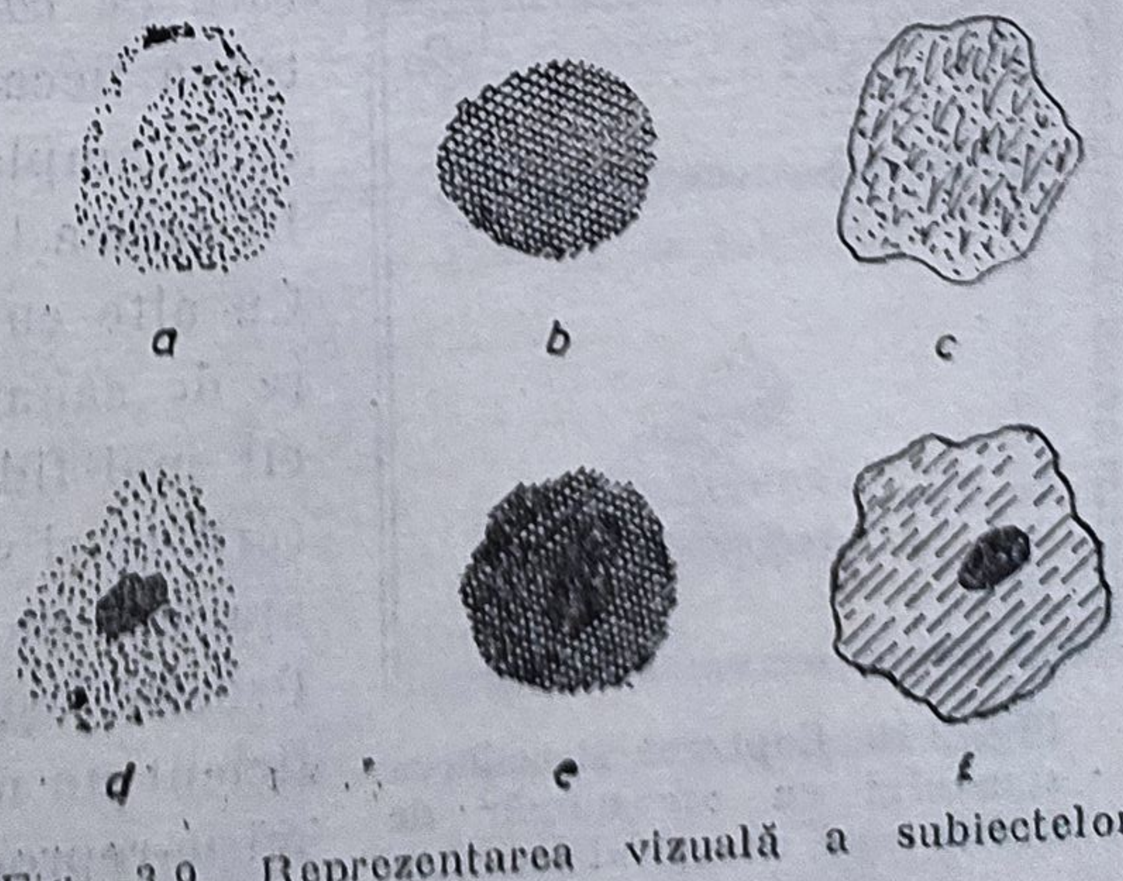


Fig. 3.9. Reprezentarea vizuală a subiectelor sonore.

și intermediare. Această imagine sonoră prezintă o compunere mai mult sau mai puțin ordonată, mai mult sau mai puțin fină, care se întinde în lărgime și profunzime.

O scenă sonoră conține în general imagini sonore diferite avînd dimensiuni și amplasamente diferite.

Astfel, un sunet grav ocupă subiectiv un spațiu mai mare ca un sunet acut, un sunet permanent un spațiu mai mare ca unul percutant, un sunet bogat un spațiu mai mare decît unul sărac etc. Ascultătorul va putea distinge sunete situate în stînga, în dreapta, mai sus sau mai jos, mai apropiat sau mai depărtat, mai mult sau mai puțin acute, mai grave, mai pătrunzătoare etc. Scena sonoră astfel construită prin ansamblul acestor sunete are deci o structură. Unele părți ale scenei sonore sînt individualizate izolat, sunetele ocupînd anumite poziții în spațiu, sau formează împreună cu altele ansamble coerente ce ocupă o parte a scenei sau întreaga scenă și dau o impresie globală.

Relieful sonor este perceput ca un relief global al ansamblului scenei, în interiorul căreia se pot distinge reliefuri locale care în anumite momente își pot impune prezența dintr-o dată asupra întregului.

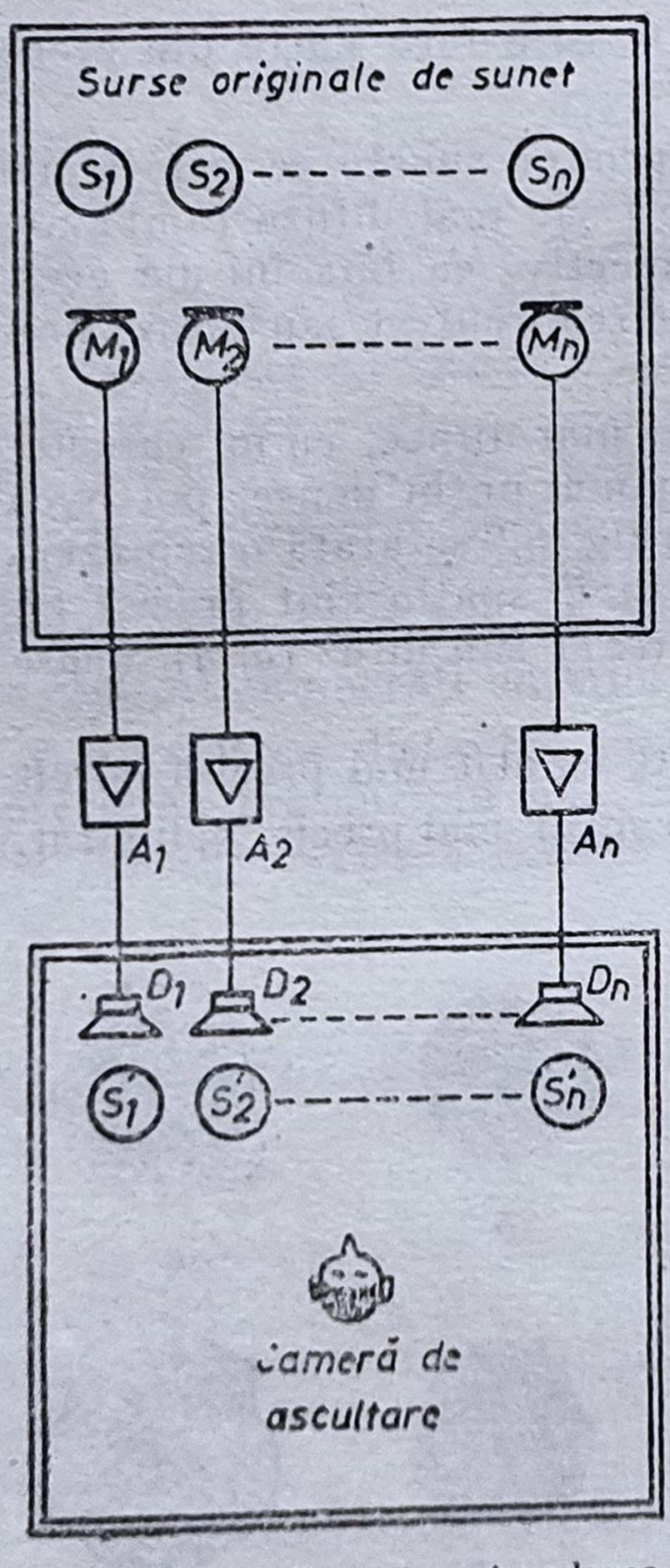


Fig. 3.10. Captarea și redarea sunetului cu un număr de canale egal cu cel al surselor sonore.

3.3. PRINCIPIILE STEREOFONIEI

În situațiile frecvent întîlnite în practică, cînd ascultătorul trebuie să audieze în mod indirect o scenă sonoră, după ce a fost captată, transmisă (eventual înregistrată) și reprodusă în alt loc din spațiu, se impune găsirea soluțiilor celor mai eficiente, pentru a nu se pierde informația„ de spațiu". Teoretic ar fi necesar un număr cît mai mare de microfoane, care să fie amplasate în spațiul definit de scena sonoră, în concordanță cu poziția și numărul surselor de semnal ce compun scena, semnalul captat de aceste microfoane să fie transmis (înregistrat) pînă la locul de ascultare pe *canale* separate, canale care se conectează fiecare la cîte un agregat de reproducere, amplasat în spațiul scenei de ascultare în aceleași poziții ca cele ale surselor captate. Cu alte cuvinte, printr-un număr cît mai mare de canale de captare-reproducere s-ar capta cît mai fidel scena sonoră de la locul producerii ei și s-ar transmite și reproduce cît mai aproape de realitate în alt loc de ascultare. Practic, așa cum se arată în fig. 3.10, este suficient un număr de canale de captare-transmisie-reproducere egal cu numărul surselor reale care compun sursa.

Este evident că o soluţie cu mai multe canale ar fi posibilă în condiţiile tehnice actuale şi ar reproduce mai fidel scena sonoră, dar nu este economică şi ca urmare nu a fost aplicată în practică.

Avînd în vedere că principalele informaţii de spaţiu şi relief omul le percepe datorită faptului că dispune de două organe de auz (audiţie bianurală), s-a ajuns uşor la concluzia că folosirea a două canale de captare-transmitere-reproducere este suficientă pentru a reda informaţia de spaţiu şi relief sonor, cu o aproximaţie destul de bună.

În consecinţă s-a adoptat şi s-a dezvoltat sistemul stereofonie cu două canale electroacustice, care este cel mai economic şi cel folosit în prezent. Menţionăm că se fac studii şi experimentări în legătură cu sistemul de captare şi reproducere cu patru canale, numit *cuadrofonie.*

3.3.1. SISTEMUL STEREOFONIC CU DOUĂ CANALE

Cel mai simplu sistem de captare-reproducere stereofonică se compune din două canale de transmisie separate, care leagă încăperea în care se face captarea scenei sonore cu încăperea în care se reproduce scena sonoră pentru a fi ascultată. În fig. 3.11 este reprezentată schema acestei instalaţii.

Semnalul este captat cu ajutorul unui cap artificial (*7*). Prin *cap artificial* se înţelege o sferă care are diametrul aproximativ egal cu distanţa dintre urechi, şi care, la capetele unuia din diametre, are fixat cît un microfon (*1*, *2*). Tensiunea obţinută la bornele microfoanelor este amplificată cu ajutorul amplificatoarelor *3*, *4* şi aplicată căştilor *5* şi *6*. În acest mod ascultătorul poate percepe în camera de ascultare, deci în alt loc, scena sonoră, ca şi cum ar asculta-o direct în camera de captare dacă s-ar situa cu capul exact în locul în care a fost amplasat capul artificial.

În această situaţie rotirea capului ascultătorului face ca tot ansamblul de surse sonore fictive care compun scena sonoră să capete o mişcare de rotaţie similară cu cea a capului, fiecare sursă păstrîndu-şi poziţia relativă una faţă de cealaltă.

Datorită faptului că auzul uman prezintă din punct de vedere fizilogic un fenomen de latenţă şi inhibiţie (variabil cu intensitatea excitaţiei) care se traduce printr-un efect de acoperire, se pot înlocui cele două căşti de la urechile ascultătorului cu două difuzoare care se amplasează la o anumită distanţă unul faţă de celălalt (fig. 3.12).

Ascultătorul se va aşeza în acest caz în faţa difuzoarelor, pe axa lor de simetrie. În cazul rotirii capului se va păstra imaginea sonoră obţinută prin

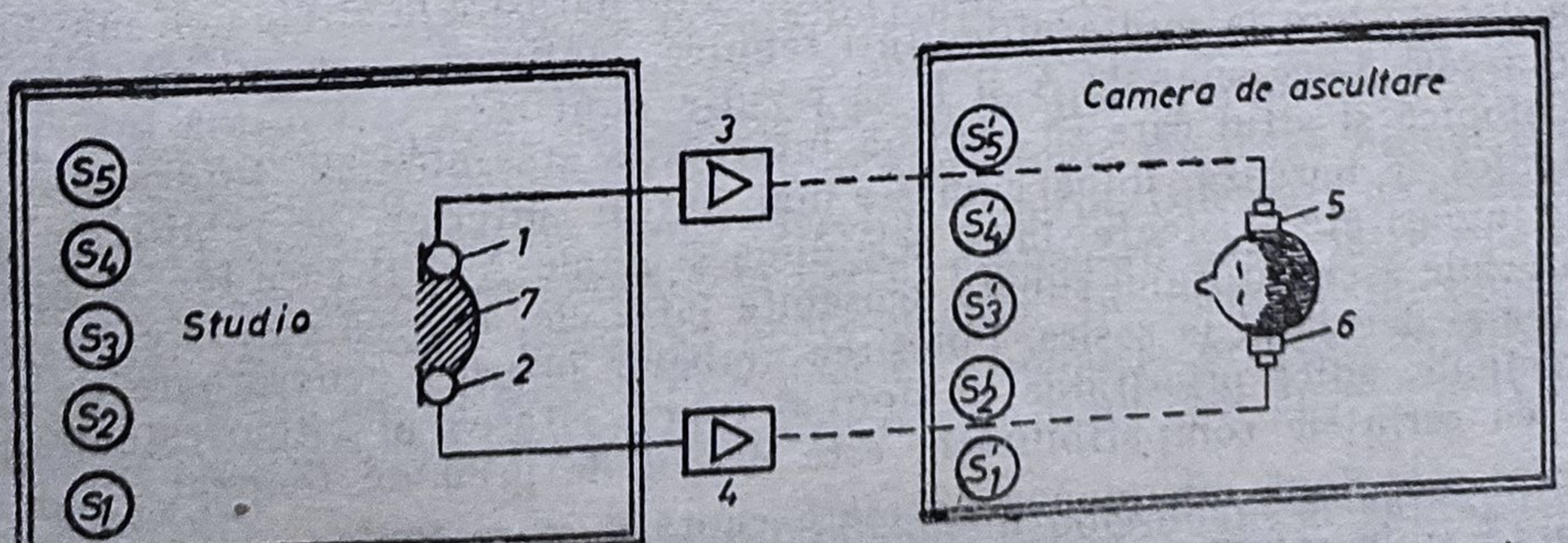


Fig. 3.11. Schema de principiu a reproducerii stereofonice a sunetului: *1*, *2* — microfoane; *3*, *4* — amplificatoare; *5*, *6* — căşti acustice; *7* — cap artificial.

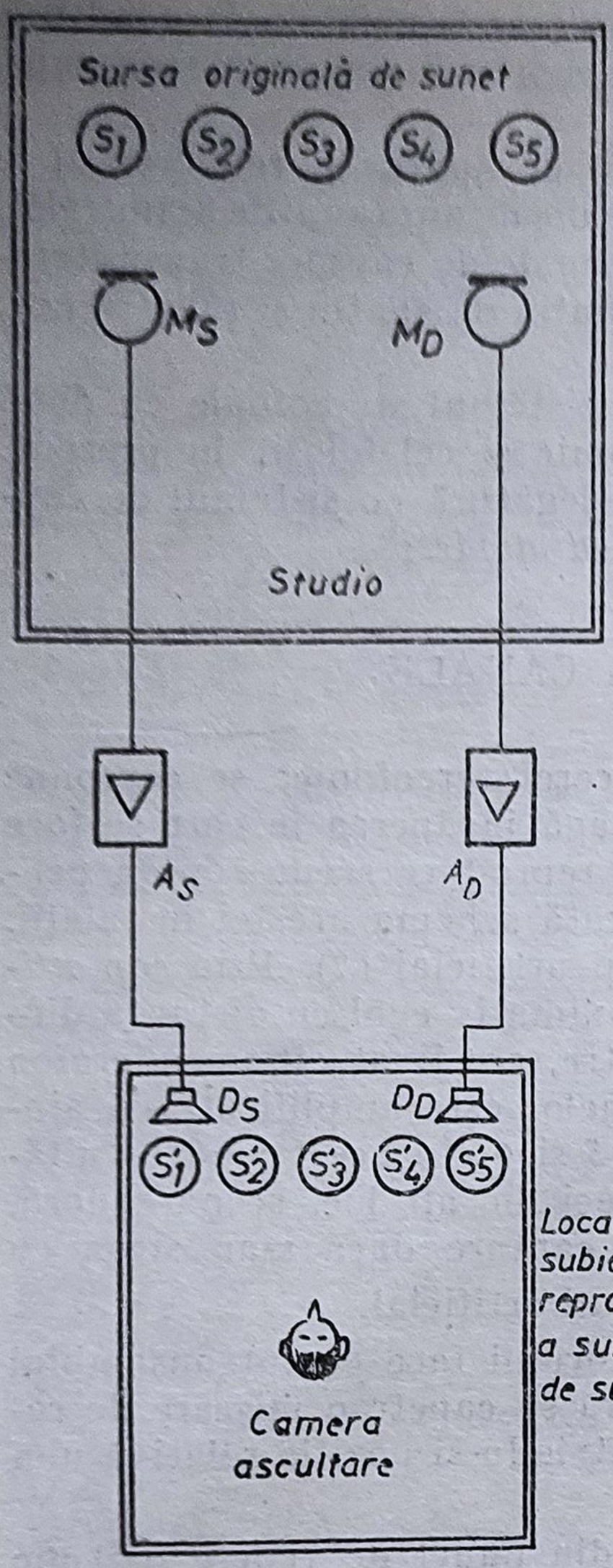


Fig. 3.12. Procedeul de reproducere stereofonică cu două difuzoare.

intermediul căștilor, cu deosebirea că sursele sonore fictive se vor menține pe aceeași bază (scena sonoră va fi fixă).

Variantele de captare și redare stereofonică a sunetului pe două canale sînt reprezentate în fig. 3.13. S-au stabilit două procedee de bază, fiecare din ele cu cîte două variante, respectiv procedeul care are la bază diferența de timp (de fază), AB, cu variantele AB apropiat și AB îndepărtat, și procedeul de intensitate, cu variantele simetric XY și asimetric MS. O variantă particularizată a procedeului de intensitate simetric este așa zisul procedeu XY stereosonic, la care captarea se realizează cu două capsule microfonice identice cu gradient de presiune, suprapuse pe aceeași verticală și rotite între ele cu 90°. O capsulă cu gradient de presiune are particularitatea de a genera o tensiune proporțională cu cosinusul unghiului pe care îl face direcția sursei cu normala la planul capsulei.

Metoda de captare este mult influențată, în afară de posibilitățile tehnice și de cerințele de bună audibilitate, de către condițiile impuse de compabilitate. Compatibilitatea este o restricție pe care producătorii de discuri stereofonice și de radioemisiuni stereofonice o impun producțiilor lor pentru ca discurile stereofonice să poată fi ascultate și pe electrofonografe obișnuite iar emisiunile stereofonice să poată fi recepționate și pe radioreceptoare normale monofonice. Deși compatibilitatea reprezintă numai o situație de tranziție de la niște principii tehnice în curs de părăsire la altele noi, mai bune, ea a dat naștere la multe dificultăți tehnice. Obținerea compatibilității cere ca din cele două semnale A și B să rezulte unul care să conțină informația monofonică și altul care să conțină informația stereofonică. Informația stereofonică se bazează, după cum s-a mai arătat anterior, pe relații de timp și de intensitate existente între cele două semnale A și B care fac să ajungă la urechile ascultătorului sunete deosebite între ele, în ceea ce privește intensitatea și decalajul la sosire. Folosirea ambelor însușiri generatoare de efect stereofonic, adică prioritatea în timp și superioritatea în intensitate, împreună cu cerințele compatibilității, este destul de greu de realizat. În cazul în care cele două microfoane necesare captării stereofonice sînt așezate în dreapta și în stînga informației captate, chiar dacă efectul sterofonic este satisfăcător la ascultare, — deși sursele sonore apar în acest caz ca imaginea

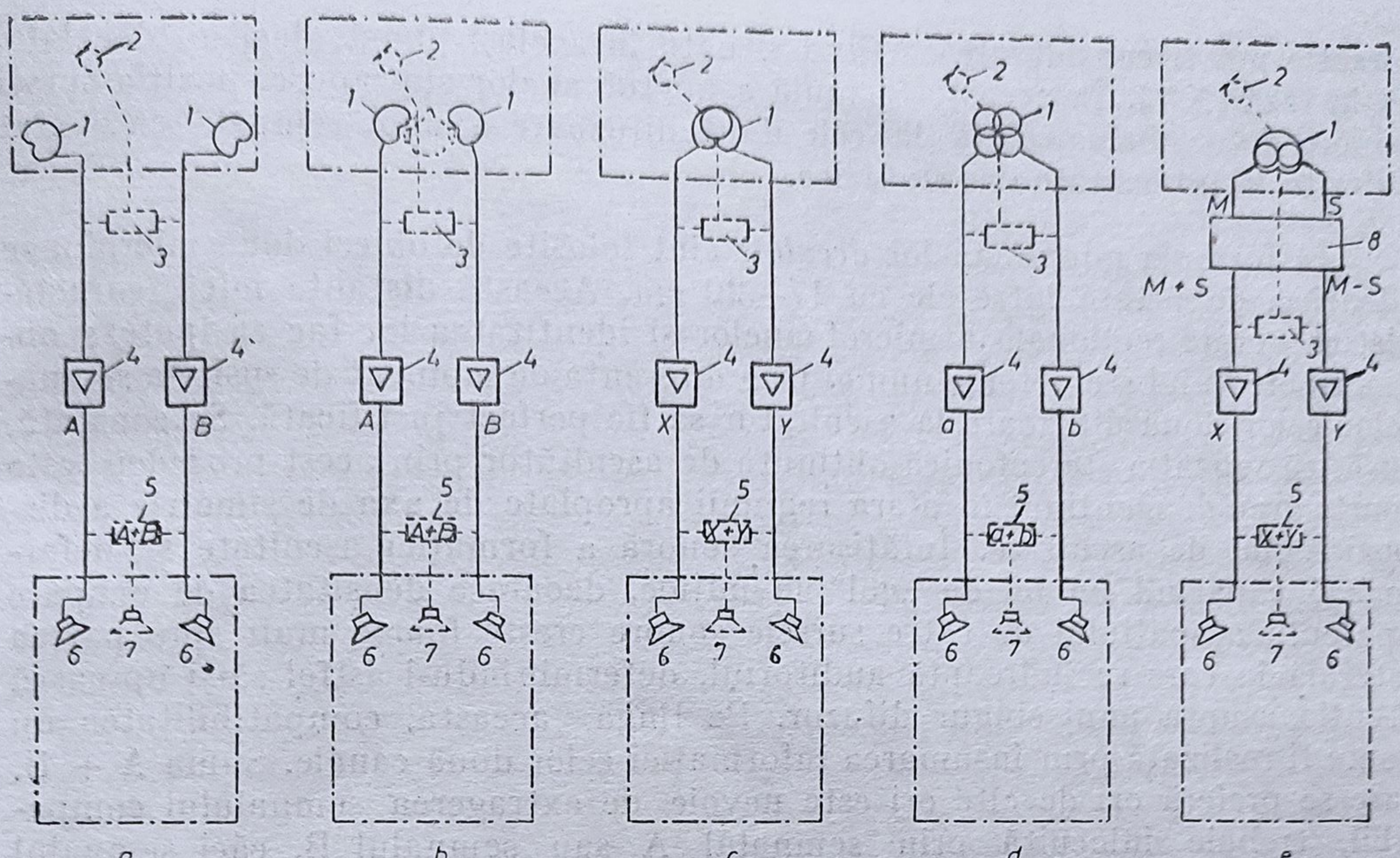


Fig. 3.13. Variante de captare și redare stereofonică prin procedeul bicanal : *a*) procedeul cu microfoane depărtate; *b*) procedeul AB cu microfoane apropiate; *c*) procedeul XY; *d*) procedeul stereosonic; *e*) procedeul MS; *1* -- microfon avînd polara din figură; *2* — microfon auxiliar; *3* — potențiometru de poziție aparentă; *4* — amplificatoare; *5* — dispozitiv de însumare; *6* — difuzor de canal *A* și *B*; *7* — difuzor central compatibil; *8* — dispozitiv sumă-diferență.

obiectelor într-o oglindă cilindrică convexă, adică foarte distanțate de centru și foarte concentrate la extremități — extragerea unei informații monofonice este imposibilă. Luînd această informație numai de la unul dintre cele două microfoane laterale, se favorizează sursele învecinate cu microfonul, iar dacă se ia informația de la ambele microfoane însumate se deformează centrul. Prin urmare, captarea cu microfoanele laterale nu numai că nu asigură contopirea într-o senzație auditivă integrală, necesară unei bune audiții stereofonice, dar nu permite nici compatibilitatea.

S-a căutat înlăturarea acestor inconveniente prin așezarea celor două microfoane la centru și aproape unul de celălalt. Această situație este acum generalizată și microfoanele de captare stereofonică se așează pe o axă de simetrie a formației sonore fie într-o poziție apropiată de cea corespunzătoare urechilor unui ascultător care privește formația captată din față, fie suprapuse pe o axă verticală situată în fața formației.

Prima formulă de amplasament, a microfoanelor decalate, dă posibilitatea aplicării unei metode de captare bazată pe diferența de timp (AB apropiat) în care pentru realizarea efectului stereofonic contează numai timpul de tranzit al undei sonore de la un microfon la altul. Diferența de intensitate sonoră datorată atenuării suferite în cursul propagării undei între cele două microfoane, fiind foarte mică, se poate neglija. În formula microfoanelor decalate, poziția sursei sonore face deci ca semnalele produse de difuzoare să ajungă la urechile ascultătorului decalate în timp, dar aproximativ egale în intensitate.

Cea de a doua formulă de amplasament, a microfoanelor suprapuse, dă un efect stereofonic bazat pe diferența de intensitate obținută cu ajutorul caracteristicilor de directivitate ale microfoanelor suprapuse, care în mod

practic pot fi considerate ca fiind situate în același punct, deci nu decalate, ci în fază (XY). În această formulă a microfoanelor suprapuse, poziția sursei sonore determină apariția la cele două difuzoare a unor semnale care sînt diferite în intensitate dar sinfazice.

În formula microfoanelor *decalate* sînt folosite de obicei două microfoane identice, depărtate între ele cu 17—20 cm. Această distanță mică, caracteristica omnidirecțională a microfoanelor și identitatea lor fac ca ipoteza obținerii efectului stereofonic numai prin diferența de moment de sosire a semnalelor celor două difuzoare la ascultător să fie perfect justificată. Se constată, însă, că senzația stereofonică obținută de ascultător prin acest procedeu este foarte greu de menținut în afara regiunii apropiate de axa de simetrie a dispozitivului de ascultare. Înfățișarea sonoră a formației ascultate se deformează căpătînd un fel de „gol" la mijloc, deoarece densitatea de ocupare aparentă a spațiului de către sursele sonore crește foarte mult spre partea laterală în care se îndreaptă auditoriul, determinîndu-l astfel să-și oprească atenția asupra unui singur difuzor. Pe lîngă aceasta, compatibilitatea nu poate fi realizată prin însumarea informației celor două canale. Suma A + B, care se preferă ori de cîte ori este nevoie de extragerea semnalului compatibil, trebuie înlocuită prin semnalul A sau semnalul B, căci semnalul A + B face să apară interferențe supărătoare în regiunea frecvențelor înalte ale spectrului auditiv.

Micșorarea dificultăților întîmpinate la aplicarea formulei microfoanelor decalate este posibilă dacă se combină calitățile acestei formule cu unele din caracteristicile formulei microfoanelor suprapuse.

Astfel, pentru obținerea compatibilității prin însumarea semnalelor A și B sînt folosite, în loc de microfoane omnidirecționale, microfoane „cardioide", așezate divergent față de axa de simetrie a formației captate, avînd față de această axă un unghi cuprins între 45 și 90°. Această măsură produce diferența de intensitate între cele două semnale A și B, necesară însumării fără interferențe. Pentru umplerea „golului" central sînt folosite microfoane de ajutor a căror contribuție este suprapusă în fază pe cele două canale A și B, cu intensitatea dorită, pentru a plasa sursele captate exact în centru ori mai aproape de difuzorul din stînga sau de cel din dreapta. Astfel de microfoane simple, al căror semnal de ieșire poate fi împărțit arbitrar pe cele două canale stereofonice, sînt foarte utile și pentru schimbarea aparentă a poziției reale a unei surse din cadrul unei formații. Numai prin manevrarea unui potențiometru, o sursă din stînga formației poate fi mutată pentru audiție în dreapta sau la centrul ansamblului, ori invers. Umplerea golului se poate face nu numai la captare, ci și la ascultare, cu ajutorul unui difuzor central așezat la mijlocul distanței dintre cele două difuzoare aparținînd canalelor A și B, alimentat cu semnal A + B la un nivel de intensitate mult inferior nivelului difuzoarelor A și B. În formula microfoanelor decalate sînt folosite uneori la captare, pentru obținerea diferenței de intensitate destinate realizării compatibilității prin însumarea A + B, nu numai microfoane directive ci și capete artificiale sau ecrane, pentru a avea în același timp diferențe de intensitate și deosebiri de componență spectrală cauzate de efectul de umbră și difracție. În aceste condiții semnalele auditive ale celor două canale stereofonice au în cuprinsul lor toate elementele caracteristice ascultării binaurale.

În formula microfoanelor *suprapuse* sînt folosite de obicei două microfoane mici, identice și directive. Suprapunerea dă identitatea de fază, iar directivitatea diferența de intensitate, cu ajutorul căreia se creează efectul

stereofonic. Diferite variante de alegere, de combinare și de orientare a celor două caracteristici de directivitate uzuale, cardioida și optul, constituie specificul procedeelor de captare cunoscute sub numele de XY, stereosonic și MS.

În *procedeul XY* cele două microfoane suprapuse, cu caracteristică de directivitate în formă de cardioidă, sînt orientate astfel încît axele cardioidelor să facă un unghi de 90° între ele și cîte un unghi de 45° cu axa de vizare, care coincide cu axa formației captate. Prin această combinație de caracteristici și orientare, formația este cuprinsă între axele principale ale cardioidelor și în consecință sunetul direct este favorizat față de sunetul indirect, care venind dinspre sală solicită numai partea inactivă a caracteristicilor microfoanelor.

Procedeul XY dă perfectă compatibilitate pentru semnalul sumă (X + + Y), dar din cauză că forma cardioidelor și orientarea lor asupra formației nu prezintă nici o direcție pe care semnalul X sau Y ar putea să fie nul, variațiile unghiului real de amplasament la captare sînt mult mai mari ca variațiile unghiului aparent la ascultare. Aceasta face ca la audiție sursele sonore componente ale formației să pară mai înghesuite decît sînt în realitate la captare.

În *procedeul stereosonic* (denumirea comercială) se suprapun două microfoane a căror caracteristică este bidirecțională în formă de opt. Ele sînt orientate astfel încît axa care trece prin vîrful unui opt să facă 45° cu axa formației și 90° cu axa celuilalt opt (al celui de-al doilea microfon). Semnalele captate de cele două microfoane sînt a, respectiv b.

Procedeul stereosonic asigură compatibilitatea pentru semnalul a + b (ca și procedeul XY), dar prin faptul că folosește caracteristici care fac ca semnalul a și b să varieze cu poziția sursei, de la zero la maxim, este superior procedeului XY, în ceea ce privește coincidența unghiului de amplasament de la captare cu unghiul aparent de amplasament de la ascultare. Din această cauză, efectul stereofonic este mult mai reușit decît la procedeul XY și reparetiția auditivă a surselor în formație mult mai apropiată de realitate. Procedeul stereosonic are totuși cusurul introducerii pe canale a unui sunet indirect reverberat de sală și captat de microfoane din cauza lobilor posteriori ai polarelor în formă de opt.

În *procedeul MS* cele două microfoane suprapuse au polare diferite. Unul are o caracteristică în formă de cardioidă cu axa de simetrie cuprinsă în planul de simetrie al formației și cu vîrful îndreptat spre formație. Celălalt are o caracteristică în formă de opt, cu lobii îndreptați spre stînga și spre dreapta formației. Cele două microfoane, ale căror caracteristici de directivitate au axele de simetrie perpendiculare, nu dau semnal compatibil prin însumare. Semnalul compatibil în procedeul MS este semnalul M (mijloc) captat cu microfonul cu caracteristica cardioidă și este echivalent cu semnalul X + Y al procedeului XY, celălalt semnal, S (german *Seite* =lateral), captat de microfonul cu polară opt, este rezervat exclusiv informației stereofonice și este echivalent cu semnalul X—Y al procedeului XY.

Datorită echivalenței semnalului M cu X + Y și S cu X—Y se pot obține prin adunări de tensiuni electrice semnalele $X = \frac{M + S}{2}$ și $Y = \frac{M - S}{2}$.

Din cauza compunerii polarei omnidirecționale cu cea bidirecțională pentru obținerea cardioidei unuia din microfoanele suprapuse intervin relații de fază și de presiune la frecvențe mari care nu respectă întocmai prevederile

teoretice. Aceasta face ca simetria procedeului MS să nu fie atît de bună ca a procedeelor XY sau stereosonic, și rezultatul captării stereofonice să varieze cu frecvența.

Pe lîngă aceasta, calitatea captării în procedeul MS este micșorată, ca și în procedeul XY de înghesuirea aparentă a surselor la centru în timpul ascultării.

Unul dintre remediile înghesuirii sau lipsei de întindere pe laturi îl poate constitui mărirea semnalului S în raport cu M. Metoda măririi semnalului S, în scopul dispersării imaginii sonore, poate fi aplicată cu același scop și la procedeul XY sau stereosonic, căci S este echivalent cu amestecul X — Y. Acest amestec, corespunzător la două semnale sinfazice, va da un efect auditiv care nu poate fi apreciat pentru sursele situate pe axa de simetrie a formației, dar va contribui simțitor cu cît ele vor fi mai depărtate de această axă, și valoarea amestecului va fi mai mare.

Semnalul de forma X—Y va fi deci o sporire a intensității semnalului lateral S; prin urmare, va dispersa imaginea sonoră de la centru către periferie.

Trebuie observat însă că amestecul de forma X + Y va avea un efect invers, de concentrare, deoarece corespunde canalului M. Trebuie reținut de asemenea că folosirea exagerată a amestecului X — Y poate duce, pentru sursele laterale, la apariția pe cele două canale a unor semnale care sînt în opoziție de fază. Această opoziție de fază se traduce auditiv prin apariția unui sunet aspru care zgîrie urechea.

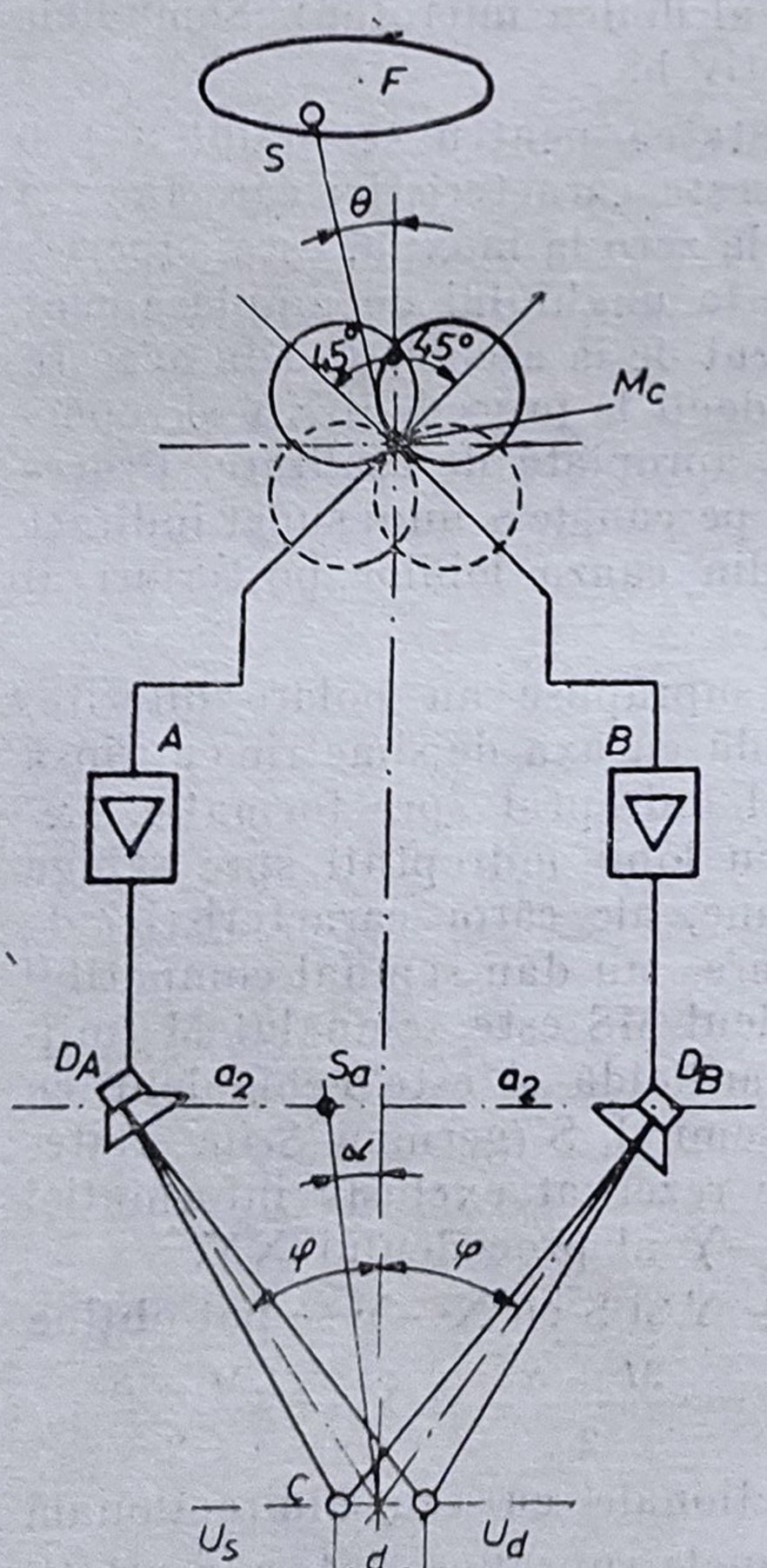


Fig. 3.14.

O exprimare cantitativă matematică a relației dintre unghiul real de amplasament al sursei sonore și unghiul aparent auditiv este destul de greu de găsit. Există totuși unele încercări care arată prin relații matematice modul de funcționare a sistemului stereofonic bicanal cu microfoane suprapuse și caracteristici de directivitate identice.

Calculul necesar pentru obținerea acestor relații are la bază schema de principiu din fig. 3.14. În această schemă, în S este așezată sursa sonoră reală, care face unghiul θ cu axa de simetrie a formației captate F. În M_c se află microfoanele suprapuse care captează sunetul în locul capului unui ascultător așezat în fața formației. De la aceste microfoane suprapuse pleacă cele două canale A și B, înzestrate fiecare cu un amplificator și cîte un difuzor, D_A și D_B. Caracteristicile fiecărui canal, de la microfon pînă la difuzor, sînt alese astfel încît să nu existe practic între ele — oricare ar fi frecvența — diferențe de intensitate, diferențe de fază sau de distorsiuni datorate transmisiei.

În C se află capul ascultătorului transmisiei stereofonice, situat pe normala la dreapta care unește cele două difuzoare, dusă pe mjilocul distanței între ele. Ascul-

tătorul din punctul C va percepe audiția unei surse sonore aparente, localizată în punctul S_a, pe o direcție care face în punctul C unghiul α cu normala pe care se găsește ascultătorul.

După o serie de calcule se obține

$$\sin \alpha = \text{tg } 0 \sin \varphi \qquad (3.4)$$

care mai poartă și numele de *legea stereofonică a sinusurilor*.

În figura 3.15, este reprezentată această funcție avînd ca parametru unghiul φ.

Se constată că în cazul particular în care ascultătorul este așezat în vîrful triunghiului echilateral avînd ca bază distanța dintre cele două difuzoare, unghiul de direcție aparent este practic egal cu cel real.

Avînd în vedere că în sistemul stereofonic cu două canale intervin mai mulți parametrii care definesc direcția deplasării imaginii aparente a sursei sonore, s-a căutat să se stabilească în mod experimental relațiile care există între cele trei unghiuri definite mai sus și deplasările care se produc.

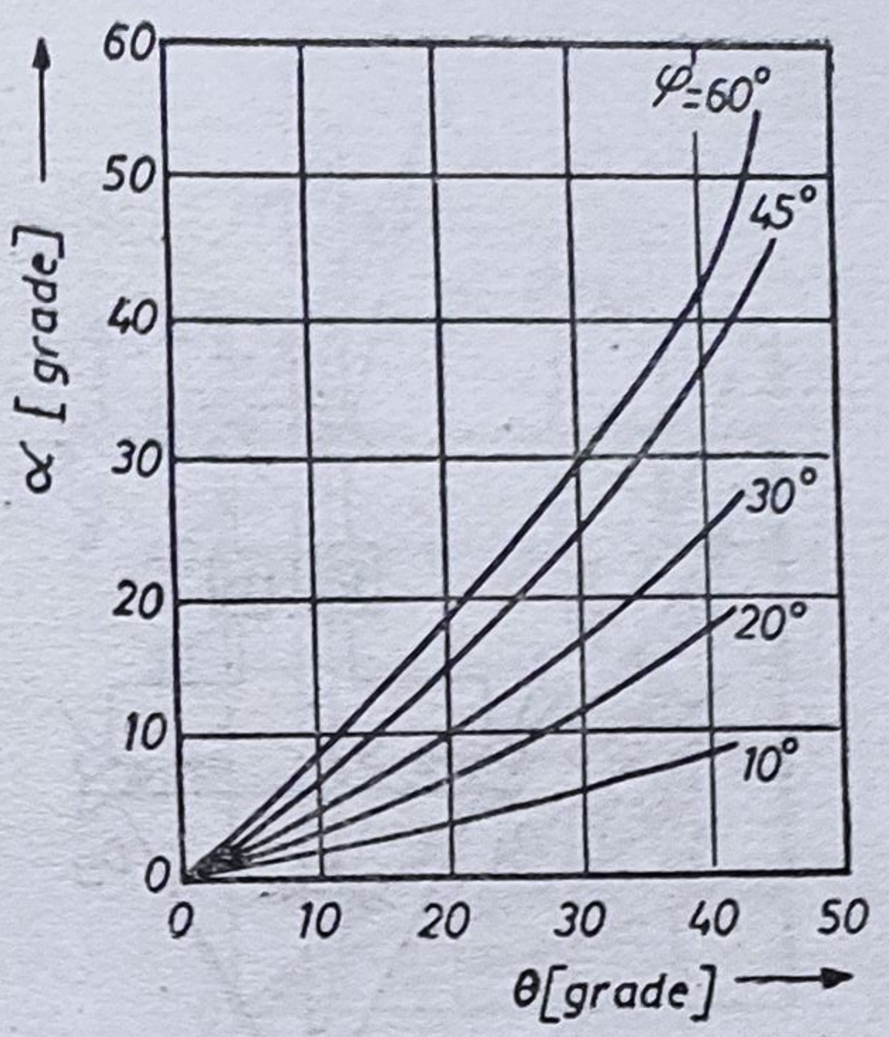


Fig. 3.15. Dependența dintre unghiul de direcție aparentă α și unghiul de direcție reală θ pentru diferite unghiuri φ formate de axa capului cu dreapta care unește mijlocul distanței dintre urechi și centrul difuzorului.

A. Curbele $\delta = f(\theta)$ în procedeul AB îndepărtat (fig. 3.16)

Se numește procedeul AB îndepărtat deoarece distanța între microfoane este mai mare ca distanța dintre urechile unui om otologic normal.

Luîndu-se ca parametru distanța între cele două microfoane, $d = 2a_1$, s-au trasat experimental curbe care exprimă valoarea deplasării imaginii

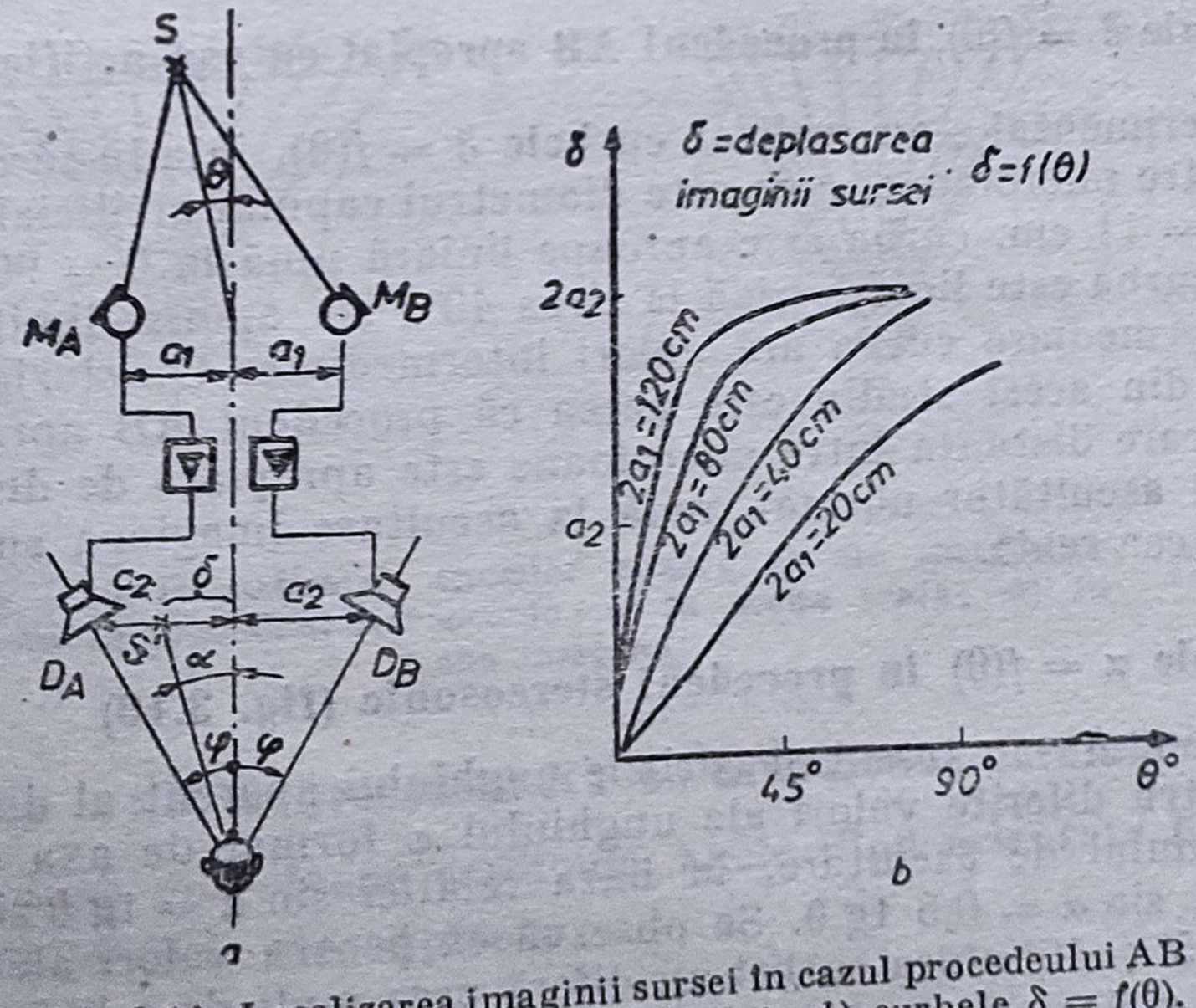


Fig. 3.16. Localizarea imaginii sursei în cazul procedeului AB îndepărtat : *a*) schema dispozitivului ; *b*) curbele $\delta = f(\theta)$.

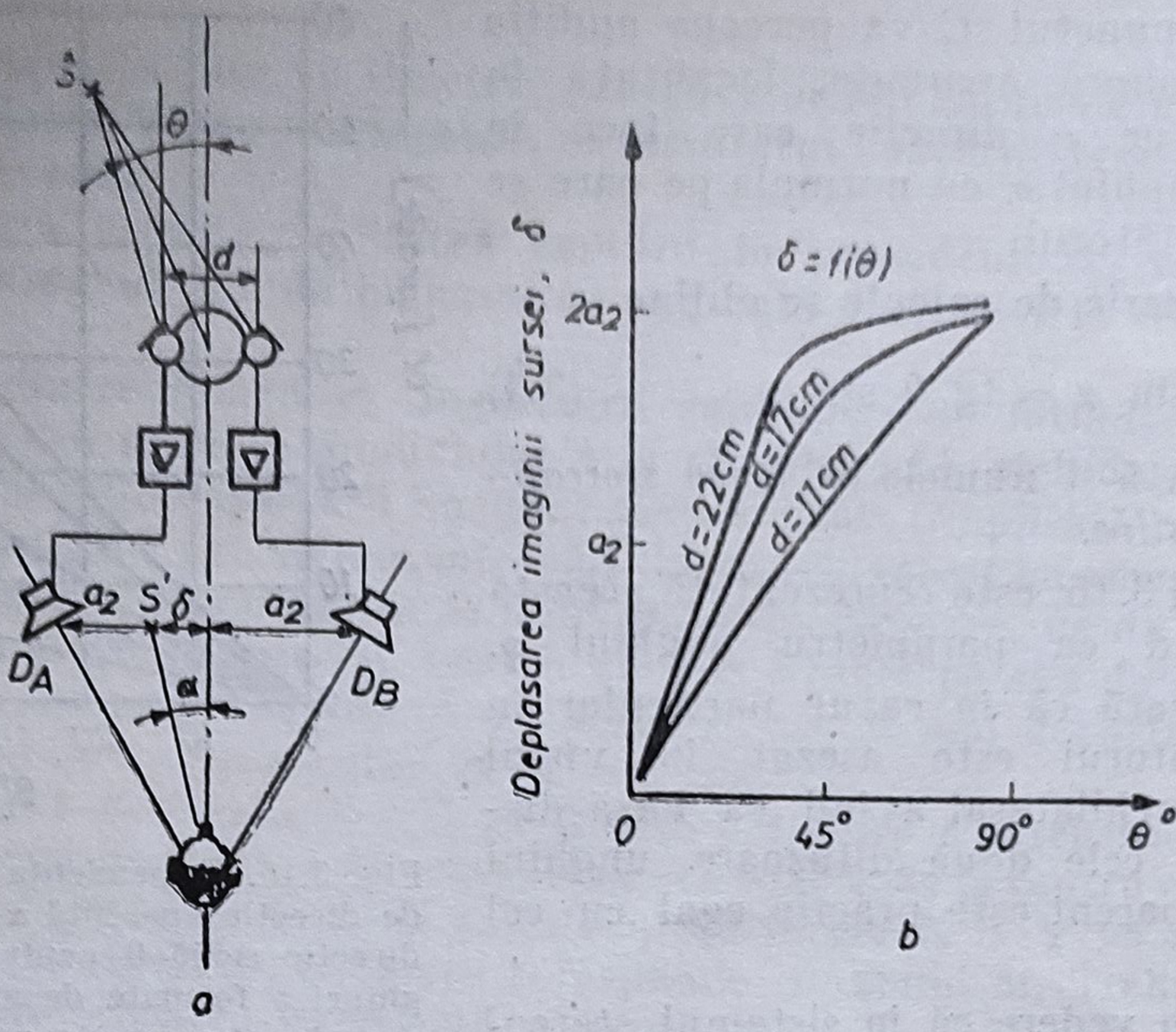


Fig. 3.17. Localizarea imaginii sursei în cazul procedeului AB apropiat cu cap artificial : *a*) schema dispozitivului ; *b*) curbele $\delta = f(\theta)$.

sursei (δ) față de unghiul de incidență real al direcției sursei cu axa de simetrie a capului (θ). Se observă, din analizarea curbelor că deplasarea imaginii crește repede cu creșterea distanței între microfoane, crește proporțional cu unghiul de incidență real pînă la o valoare, după care se limitează și deci dependența este neliniară. Cu cît distanța între microfoane scade, apropiindu-se de valoarea distanței dintre urechile unui om etologic normal, deplasarea imaginii sursei la redare are o dependență mai apropiată de cea liniară față de unghiul făcut de direcția sursei cu axa de simetrie a capului la captare.

B. Curbele $\delta = f(\theta)$ în procedeul AB apropiat cu cap artificial (fig. 3.17)

Tot experimental s-au realizat curbele $\delta = f(\theta)$, luîndu-se ca parametru distanța d între microfoane, care este diametrul capului artificial. Se constată că pentru $d = 11$ cm, curba este aproape liniară pînă la $\theta = 90°$, iar pentru $d = 22$ cm, curba este liniară pînă la circa 40°, iar apoi se limitează. Pentre diametre intermediare curba are valori intermediare. Concluzia importantă care rezultă din acest studiu este aceea că procedeul AB apropiat cu cap artificial, la care distanța între microfoane este apropiată de distanța dintre urechile unui ascultător normal, redă la ascultare imaginea sursei cea mai apropiată de cea reală.

C. Curbele $\alpha = f(\theta)$ în procedeul stereosonic (fig. 3.18)

Experimental s-au trasat și curbele unghiului aparent al direcției sursei $\alpha = f(\theta)$, pentru diferite valori ale unghiului φ format de axa unui difuzor cu axa sistemului de ascultare, în baza relației $\sin \alpha = \operatorname{tg} \theta \sin \varphi$. Pentru cazul $\varphi = 30°$, $\sin \alpha = 0{,}5 \operatorname{tg} \theta$. Se observă că pentru valori ale unghiului θ mai mici ca $35° \div 40°$ alura curbei nu diferă prea mult de o linie dreaptă, iar pentru valori mai mari, depășind 45°, curba crește brusc, ceea ce se traduce

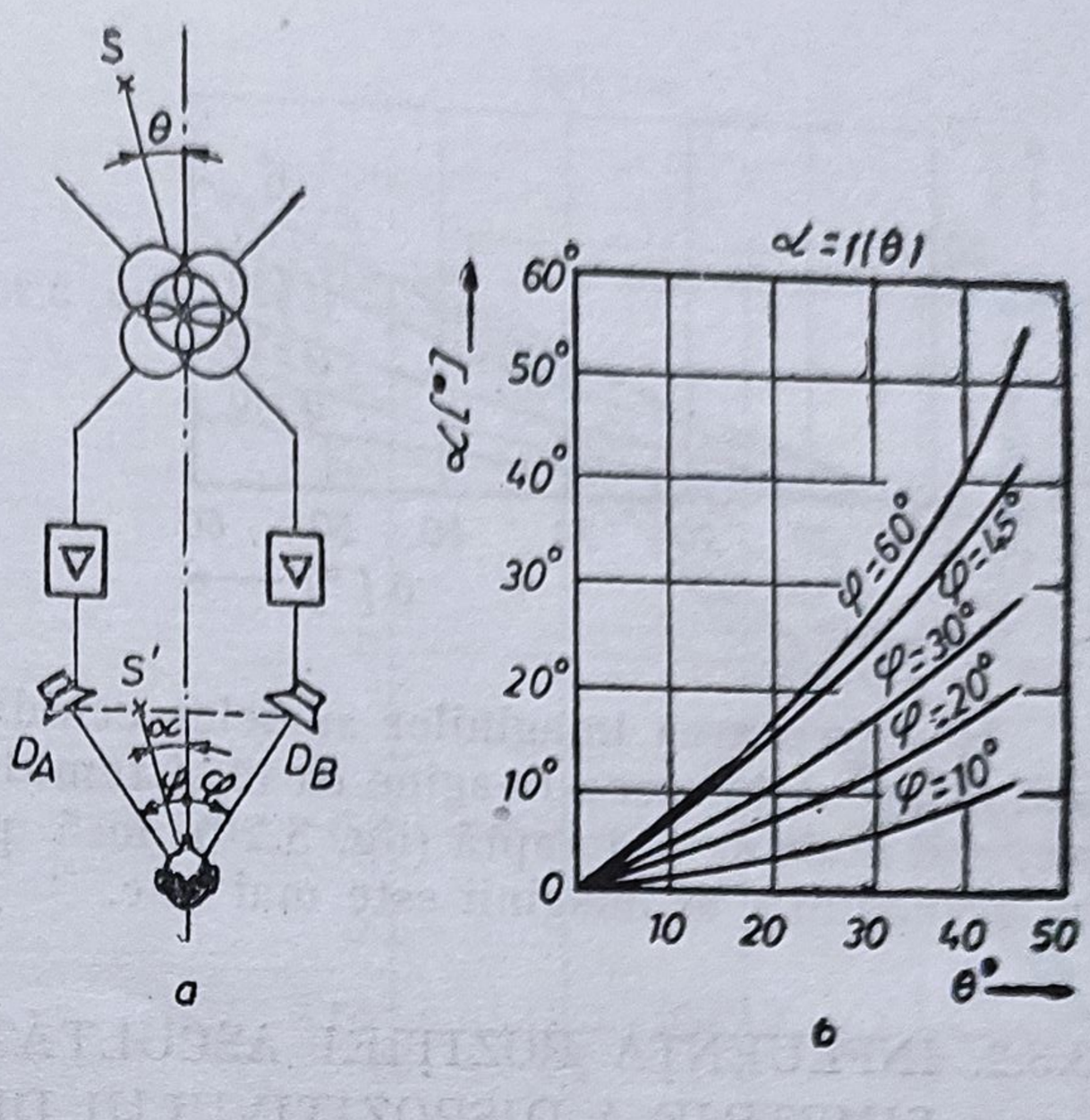


Fig. 3.18. Localizarea imaginii sursei în cazul procedeului XY stereosonic: *a*) schema dispozitivului; *b*) curbele $\alpha = f(\theta)$.

printr-o înghesuire mai mare a imaginilor sonore către difuzor pentru surse reale egal repartizate pe scenă (fig. 3.19). Acest efect este cu atît mai mare cu cît unghiul φ este mai mare. De aici rezultă două concluzii importante:

— unghiul φ nu trebuie să fie prea mare;

— pentru a nu se obține, în scena-imagine, la captarea stereosonică a unei orchestre, instrumente înghesuite către difuzoare, în amplasamentul real acestea se vor așeza mai distanțate spre extremitățile dreapta și stînga ale scenei (orchestrei).

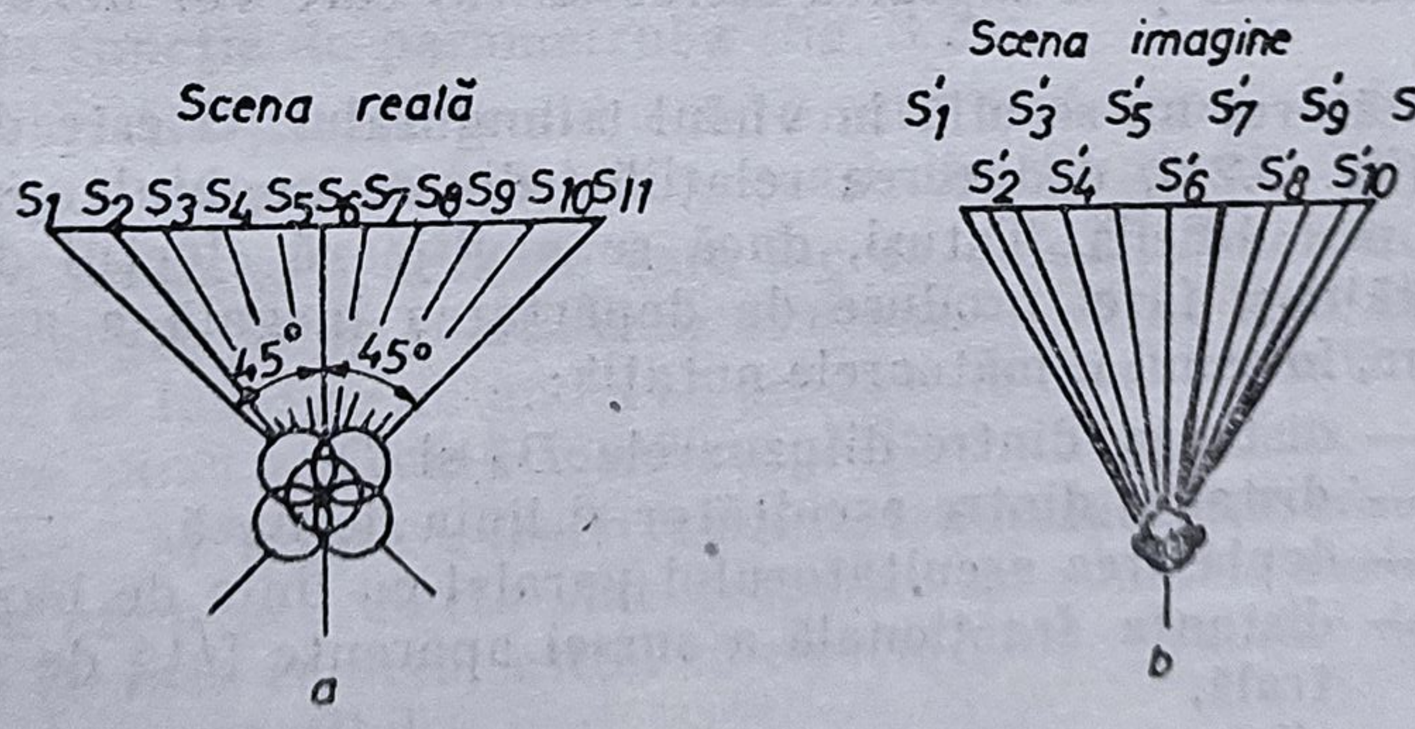


Fig. 3.19. Repartizarea surselor sonore și ale imaginilor acestora în procedeul stereosonic: *a*) în scena reală; *b*) în scena imagine.

D. Curbele $\alpha = f(\theta)$ în procedeul XY cu microfoane cardioide

În cazul a două microfoane cardioide, axele fiind orientate la 90° una față de alta, relația (3.4) are expresia:

$$\sin \alpha = \frac{\sin \theta}{\cos \theta + \sqrt{2}} \sin \varphi \qquad (3.5)$$

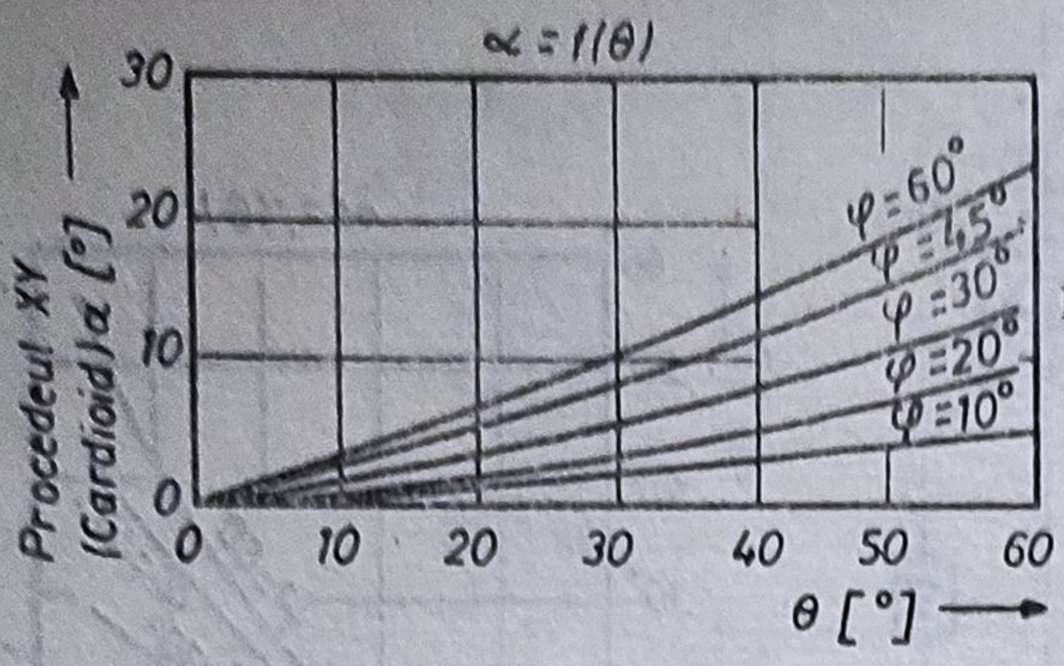


Fig. 3.20. Curbele $\alpha = f(\theta)$ în procedeul XY cardioid.

Reprezentarea imaginilor surselor echidistante în scena reală este ceva mai omogenă în scena-imagine ca în sistemul stereosonic, iar curbele se apropie, mai mult de o dreaptă (fig. 3.20), însă pentru aceeași valoare a unghiului θ unghiul α al imaginii este mai mic.

3.3.2. INFLUENȚA POZIȚIEI ASCULTĂTORULUI FAȚĂ DE AXA DE SIMETRIE A DISPOZITIVULUI DE ASCULTARE

În cazul în care ascultătorul este situat mai aproape de un difuzor se constată că :

— intensitatea sunetului primită la ureche de la acest difuzor este mai mare ca cea primită de la celălalt difuzor ;

— pentru un semnal al unei surse centrale (pulsînd în fază pe ambele difuzoare) sunetul emis de difuzorul mai apropiat va ajunge mai întîi la urechea ascultătorului.

Cu alte cuvinte deplasarea ascultătorului față de axa de simetrie introduce diferențe de intensitate și decalaje temporale suplimentare (independente de cele introduse prin captarea stereofonică) care vor denatura efectul localizării.

Dacă ascultătorul nu se află în vîrful triunghiului, ci este deplasat paralel cu baza (fig. 3.21), deducerea relațiilor dintre unghiul aparent și cel real este mult mai dificilă. Totuși, dacă se neglijează efectul de asimetrie asupra intensității și fazei produse de depărtarea inegală a ascultătorului față de difuzoare, folosind următoarele notații :

$2a_2$ — distanța dintre difuzoarele D_A și D_B,
h — distanța dintre ascultător și linia de bază,
xa_2 — deplasarea ascultătorului paralel cu linia de bază ($|x| < 1$),
l_a — distanța fracțională a sursei aparente față de poziția centrală,
l_r — distanța fracțională a sursei reale față de poziția centrală,
P_a, P_b — mărimea amplitudinilor presiunilor date de D_A și D_B în O,
β și γ — unghiurile difuzoarelor față de ascultător,
τ_a, τ_b — diferențele de timp de sosire ale sunetelor D_A și D_B la cele două urechi,
Φ_a, Φ_b — fazele în O la urechea stîngă și la urechea dreaptă,
φ — unghiul difuzoarelor față de ascultătorul așezat pe axa de simetrie a difuzoarelor,
α — unghiul direcției aparente în O,
θ — unghiul real al sursei față de axa microfonului,

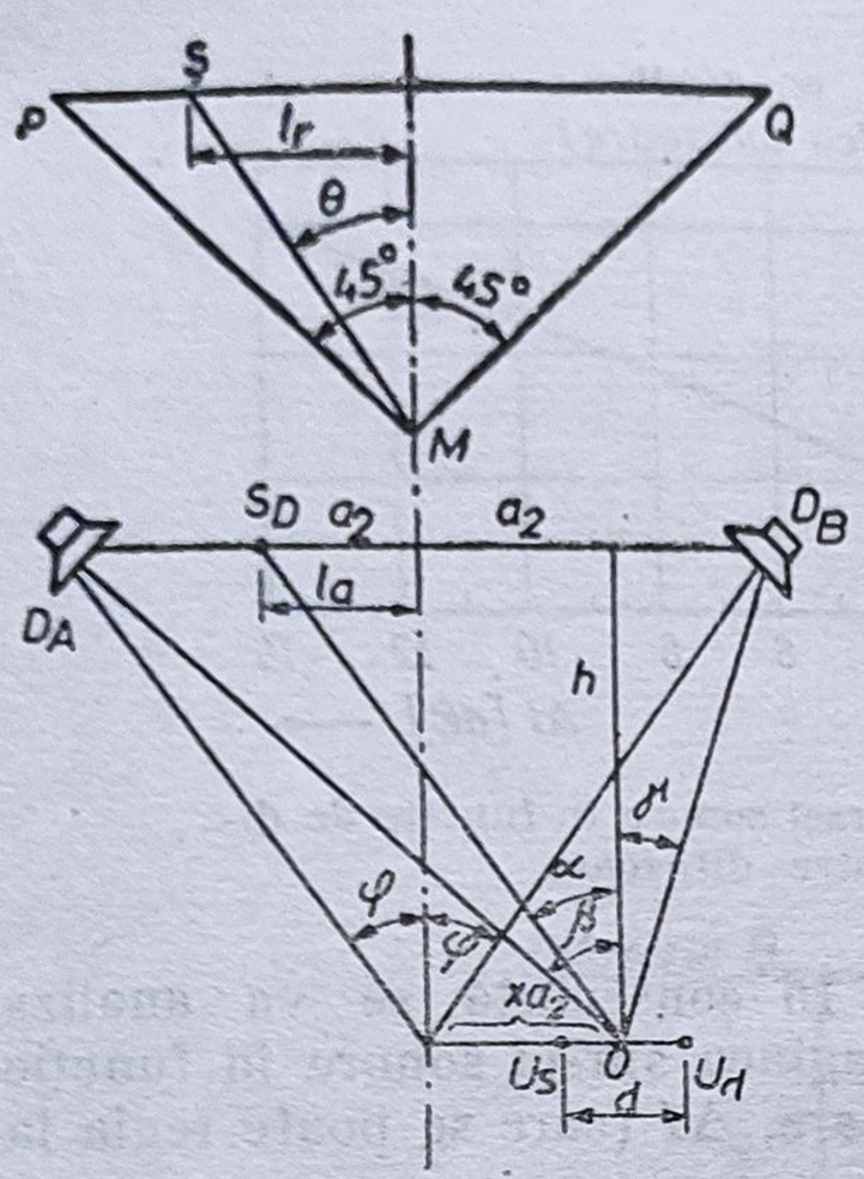


Fig. 3.21. Modificarea unghiurilor de direcție în cazul cînd ascultătorul se deplasează pe o direcție perpendiculară pe axa de simetrie a microfoanelor stereofonice.

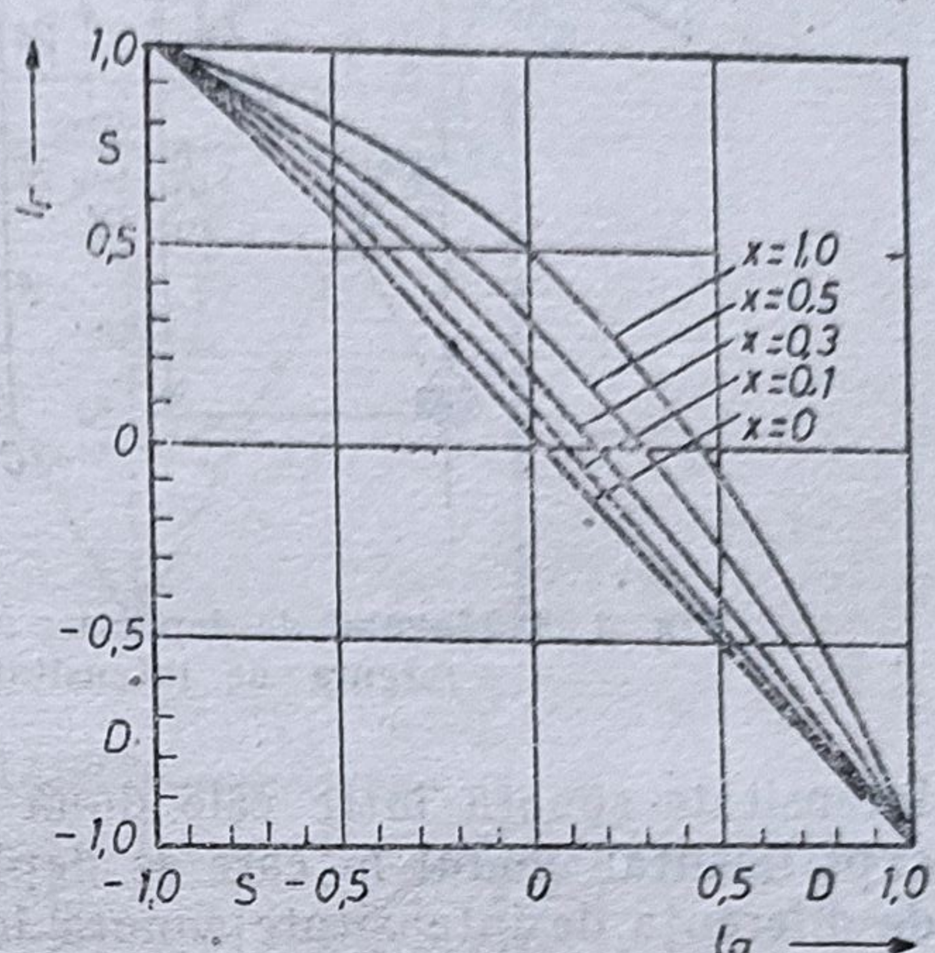


Fig. 3.22. Relația dintre poziția aparentă a sursei l_a și poziția reală l_r în cazul diferitelor deplasări x ale ascultătorilor.

se obține :

$$l_x = l_r \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \theta} - \frac{x}{\operatorname{tg} \theta} \right) \tag{3.6}$$

Cunoscînd deci θ și α se poate deduce l_a în funcție de l_r și reprezenta pe un grafic în funcție de parametrul x (fig. 3.22).

Prin variația parametrului x se constată că sursa se deplasează în mod aparent odată cu ascultătorul în aceeași direcție cu el.

Pentru anumite frecvențe care fac ca defazajul produs de diferența de parcurs — neglijată în relațiile de mai sus — să fie egal cu numărul impar de jumătăți de lungime de undă, se produce la ureche o antifază care ar putea să deplaseze sursa aparentă în afara poziției difuzoarelor.

Deoarece în aceste cazuri intensitatea rezultantă scade, sunetele care ar produce asemenea efecte sînt acoperite de sunetele vecine cu intensitate mai mare (și fază corectă) astfel că efectul produs rămîne de cele mai multe ori practic imperceptibil.

Pentru a stabili influența poziției ascultătorului asupra deplasării imaginii sursei în cazurile în care se modifică și alți parametrii ai dispozitivului de ascultare (cum sînt diferența de intensitate sau decalajul temporal între cele două canale) s-au determinat experimental aceste relații :

A. Deplasarea imaginii sursei cu diferența de intensitate sonoră între difuzoare $\alpha = f(\Delta I)$

Deplasarea ascultătorului față de axa de simetrie a unui dispozitiv de ascultare cu două difuzoare, atunci cînd intensitatea sonoră a acestora este aceeași, are același efect subiectiv ca în cazul în care ascultătorul nu își schimbă poziția față de axa de simetrie a sistemului însă se modifică diferența de

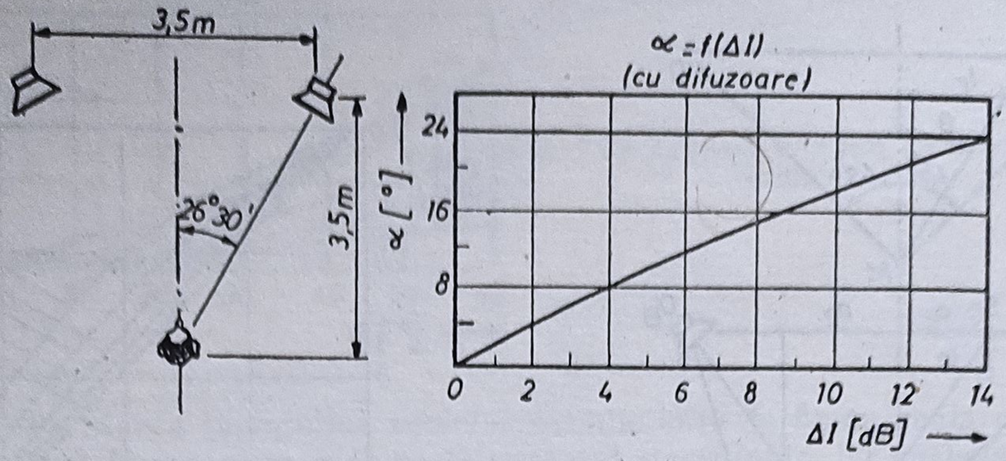


Fig. 3.23. Unghiul de deplasare a imaginii sursei sonore în funcție de diferența de intensitate sonoră între difuzoare.

intensitate sonoră între cele două difuzoare. În consecință se va analiza experimental modul în care se deplasează imaginea sursei sonore în funcție de diferența de intensitate sonoră între difuzoare, ΔI (care se poate regla la aprecierea ascultătorului).

Aplicîndu-se diferențe de intensitate variabile unui sistem de ascultare cu două difuzoare distanțate între ele la 3,5 m, (ascultătorul situat în axă la 3,5 m distanță), s-a obținut experimental curba $\alpha = f(\Delta I)$, reprezentată în fig. 3.23. Se observă că, mărindu-se diferența de intensitate ΔI, curba se apropie asimptotic de valoarea unghiului φ, care în acest caz este egal cu 26°30′. Se mai observă că această curbă diferă de cea din fig. 3.24, ridicată cu căști, care nu este limitată la această valoare ; deci concluzia care se impune este că audiția în cască este mai corectă, imaginea sursei nefiind influențată de amplasamentul celor două căști, așa cum este influențată de poziția difuzoarelor.

B. Deplasarea imaginii sursei în funcție de poziția ascultătorului, datorită diferenței de intensitate

Refăcînd experiența precedentă s-a căutat să se determine practic locul geometric al imaginii sonore pentru un ascultător aflat în afara axei de simetrie a dispozitivului de ascultare (fig. 3.25).

Într-o primă serie de experiențe s-a variat intensitatea sunetului între cele două difuzoare, împărțind distanța dintre difuzoare în 8 părți egale care definesc opt poziții distincte, și s-au ridicat următoarele curbe : curba *1*, pentru un ascultător aflat în axă ; curba *2*, pentru un ascultător deplasat cu 75 cm în stînga axei și curba *3*, pentru un ascultător deplasat în stînga axei cu 1,5 m.

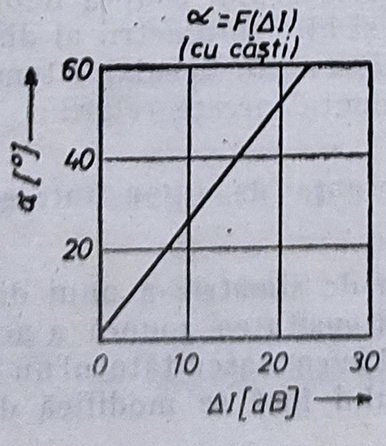


Fig. 3.24. Unghiul de deplasare a imaginii sursei sonore în funcție de diferența de intensitate sonoră între cele două căști.

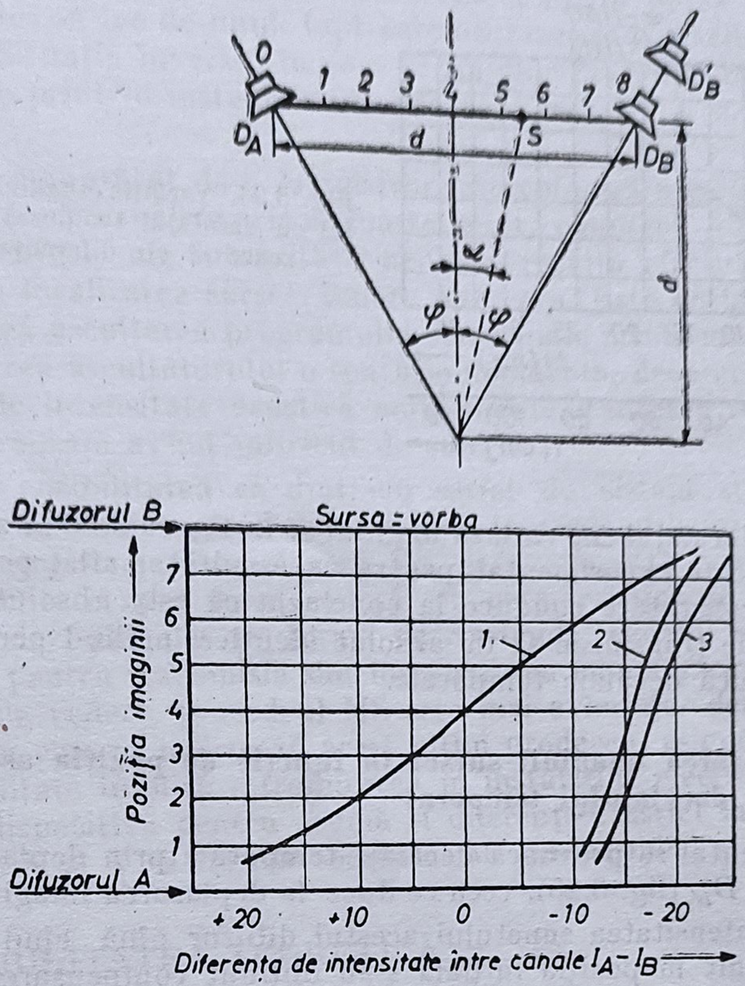


Fig. 3.25. Dispoziţia difuzoarelor şi deplasarea imaginii sursei în funcţie de poziţia auditoriului, datorită diferenţei de intensitate.

Imaginea sursei se deplasează de la axă spre difuzorul în partea căruia se deplasează ascultătorul. Imaginea pentru curba *1* se află în poziţia *1*, dacă intensitatea difuzorului B este mai mică cu 17 dB faţă de difuzorul A; imaginea se va deplasa către difuzorul B în poziţia 7, pentru o creştere de circa 17 dB a intensităţii difuzorului B; deplasarea din poziţia *1* în poziţia 7, necesită o diferenţă de intensitate de cca. 34 dB (de la + 17 dB la —17 dB).

În situaţiile *2* şi *3* cînd ascultătorul este deplasat faţă de axa de simetrie a dispozitivului de ascultare, pentru deplasarea imaginii sursei între cele două extremităţi sînt suficiente alte valori ale diferenţei de intensitate, care sînt mult mai mici. Aceasta arată că imaginea surselor sonore se deformează cu atît mai mult cu cît ascultătorul este deplasat mai mult faţă de axa de simetrie.

C. Deplasarea imaginii sursei cu decalajul temporal $\alpha = f(\Delta t)$

Aplicînd semnal unui difuzor al dispozitivului stereofonic de ascultare, iar celuilalt difuzor aplicîndu-i acelaşi semnal după un decalaj de timp Δt, provocat artificial, dacă decalajul Δt nu depăşeşte o anumită valoare, se obţine o imagine unică a sursei sonore.

Această imagine nu se găseşte pe axa de simetrie a dispozitivului de ascultare, ci este deplasată cu un unghi α faţă de aceasta (spre difuzorul care a pulsat mai întîi).

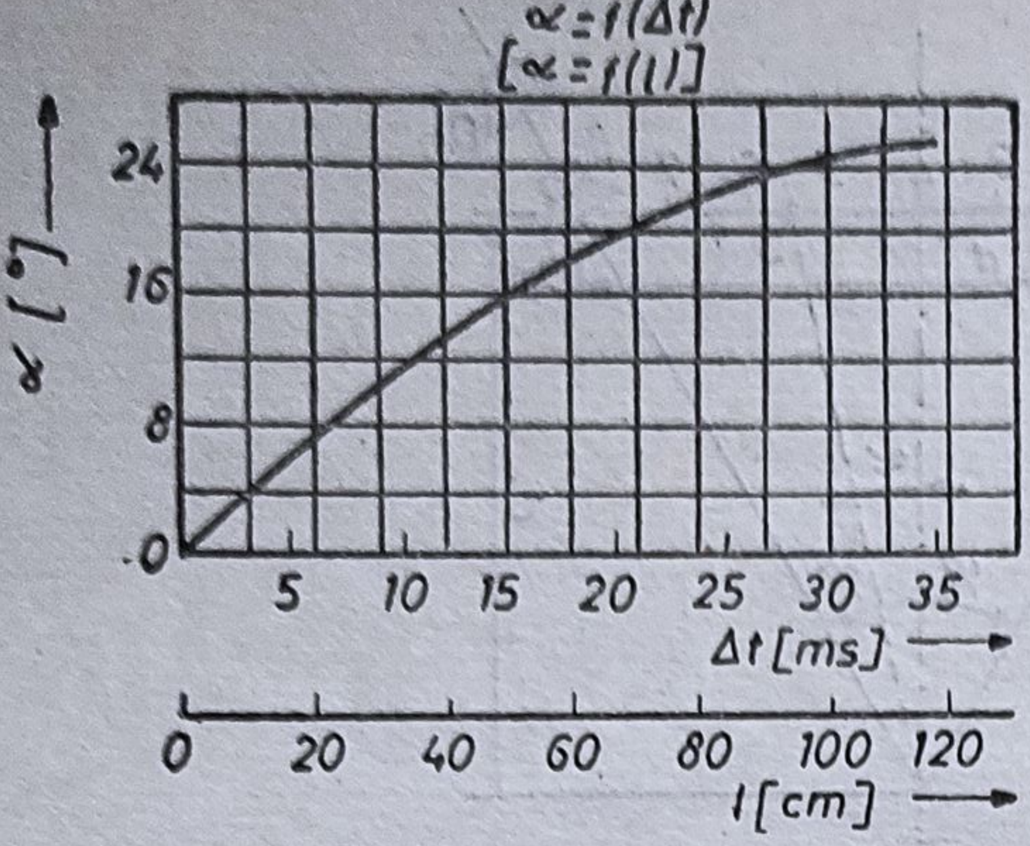


Fig. 3.26. Variația unghiului α al imaginii sursei cu decalajul temporal provocat în difuzoare și cu diferența de drum l.

Variind decalajul Δt, variază unghiul α. În figura 3.26 se arată alura curbei $\alpha = f(\Delta t)$ ridicată experimental, pentru un ascultător aflat pe axa de simetrie. Această constatare conduce la concluzia că este absolut necesar ca cele două canale de transmisie să fie absolut identice, nefiind permis ca unul din ele să indroducă decalaje temporale.

D. Deplasarea imaginii sursei în funcție de poziția ascultătorului, datorită decalajului temporal

Experimental se provoacă decalaje temporale prin deplasarea difuzorului D_B în poziția $D_{B'}$ (fig. 3.25), ceea ce duce la deplasarea imaginii sursei sonore.

Mărind intensitatea sunetului acestui difuzor pînă cînd imaginea sursei sonore a revenit în poziția inițială s-au obținut compensarea decalajului de timp prin diferența de intensitate și aceleași curbe pentru ascultătorii situați în afara axei de simetrie (fig 3.25).

Pentru a verifica acest efect de compensare s-au făcut experimente practice asupra unui număr de ascultători și s-a constatat că efectul de compensare a ecarturilor depinde de :

— natura sunetului (sunetele cu caracteristici tranzitorii mai pronunțate necesită o diferență de intensitate mai mare) ;

— nivelul sunetului ;

— particularitățile fiziologice ale ascultătorului (aprecierile diferă de la un ascultător la altul).

3.4. COMPATIBILITATEA SISTEMELOR STEREOFONICE

Compatibilitatea constă în traducerea în fapt a condiției ca orice înregistrare stereofonică să poată fi reprodusă printr-o instalație monofonică și invers, orice înregistrare monofonică să se poată reproduce prin intermediul unui sistem stereofonic.

Realizarea compatibilității unei înregistrări stereofonice impune ca din două semnale stereo să se obțină atît informația monofonică cît și, bineînțeles, informația stereofonică.

În general, reproducerea unei înregistrări monofonice prin intermediul unui sistem stereofonic nu prezintă dificultăți, deoarece în acest caz, pentru

reproducerea sau transmisia semnalelor monofonice, se vor putea utiliza două canale electroacustice în loc de unul, fapt care antrenează o ameliorare a calităţii reproducerii. Situaţia inversă, în care se impune reproducerea unei înregistrări stereofonice printr-o instalaţie monofonică, este mult mai dificil de realizat.

După cum s-a mai arătat, la o înregistrare stereofonică nivelul semnalelor electrice din cele două canale variază foarte mult, cunoscut fiind faptul că din diferenţele de nivele ale intensităţii acustice rezultă efectul stereofonic, respectiv se obţine localizarea sursei sonore aparente. Este de la sine înţeles că din această cauză ascultarea programului stereofonic printr-un singur canal electroacustic va crea ascultătorului o senzaţie neplăcută, deoarece vor apărea variaţii de nivel de intensitate acustică nejustificate, calitatea tehnică şi artistică a acestui program avînd suficient de suferit.

Există totuşi posibilitatea ca dintr-un astfel de sistem stereofonic să rezulte semnale monofonice compatibile. Astfel, în cazul utilizării procedeului de transmisie şi înregistrare stereofonică MS, care comportă pentru semnalul M microfoane orientate spre sursa sonoră, cu caracteristică de directivitate omnidirecţională, dar mai ales în formă de cardioidă, canalul corespunzător M poate fi folosit pentru transmisia sau înregistrarea monofonică compatibilă. Din acest punct de vedere, procedeul MS este mai avantajos decît procedeul XY În situaţia în care se utilizează acest ultim prodeceu, asigurarea condiţiilor de compatibilitate implică introducerea în instalaţiile electroacustice respective a unor dispozitive pentru „sumă şi diferenţă", astfel încît din însumarea semnalelor X şi Y să rezulte semnalul M, compatibil.

3.4.1. COMPATIBILITATEA TEORETICĂ

Compatibilitatea unui sistem stereofonic este condiţia de bază pe care trebuie să o îndeplinească o captare stereofonică pentru a fi folosită normal în audiţia monofonică fără altă pierdere de calitate decît aceea a efectului stereofonic (localizarea surselor, relief sonor, spaţialitate). Diferitele procedee de captare stereofonică nu reproduc la fel de bine realitatea şi practica a dovedit că *cel mai bine o reproduce procedeul AB cu cap artificial*, ceea ce este explicabil prin faptul că acest procedeu foloseşte cele mai puţine compromisuri, bazîndu-se atît pe diferenţa de timp cît şi pe cea de intensitate. Se realizează astfel, ca şi în audiţia directă, pentru sursele laterale, diferenţe de intensitate variabile cu frecvenţa şi nu constante ca în procedeul XY. În procedeul AB cu cap artificial repartizarea rolului diferenţelor de timp şi de intensitate în funcţie de frecvenţă, în efectul de localizare a surselor sonore, reproduce cel mai fidel mecanismul audiţiei directe şi ca urmare relieful, şi redă fidel realitatea.

În practică se constată că deplasările de la o extremitate a scenei la cealaltă a unei surse sonore de intensitate constantă dau, în procedeul XY de captare, o imagine sonoră care întîi se atenuează în primul difuzor şi apoi apare şi creşte în celălalt, dar nu deplasîndu-se cu intensitate constantă dintr-o parte în cealaltă a scenei sonore, ca în cazul procedeului AB cu cap artificial.

Deoarece calitatea stereofonică diferă de la un procedeu la altul, compatibilitatea nu trebuie considerată ca o condiţie care asigură unei captări calitatea maximă în audiţia stereofonică şi în acelaşi timp calitatea maximă în audiţia monofonică. În acelaşi timp rezultatele obţinute nu trebuie apreciate faţă de cele maxime ale procedeului AB cu cap artificial, ci faţă de cele ale procedeului stereofonic de captare-redare ales.

Compatibilitatea teoretică reprezintă, din punct de vedere tehnic, condiția pe care trebuie să o îndeplinească o captare stereofonică pentru a nu introduce *distorsiuni de fază* în auditia monofonică.

Din acest punct de vedere, rezultă că numai procedeele de intensitate sînt compatibile [în procedeul XY semnalul X + Y (monofonic) nu introduce distorsiuni de fază, iar procedeul MS semnalul M este un semnal monofonic obişnuit].

Dacă se judecă după criteriul estetic însă, atît teoretic cît şi practic nu se poate obține în acelaşi timp printr-o captare stereofonică maximul de calitate şi în audiția stereofonică şi în cea monofonică deoarece, pentru a suplini lipsa auzului inteligent într-o captare monofonică, se creează artificial perspectiva prin exagerarea unor planuri sonore, scoțînd în evidență anumite surse sonore care nu sînt suficient de prezente ; în captarea stereofonică această exagerare nu este necesară, ci trebuie chiar evitată pentru a nu denatura perspectiva normală a scenei sonore captată.

O captare echilibrată în audiția stereofonică va apărea în audiția monofonică inferioară celei echilibrate monofonic, şi invers. Întotdeauna o captare realizată unic monofonică sau unic stereofonică, efectuată cu grija obținerii calității maxime, va fi din punct de vedere estetic superioară unei captări aşa-zise „compatibile".

3.4.2. COMPATIBILITATEA PRACTICĂ

Criteriul compatibilității este azi o necesitate practică impusă de considerente de ordin economic şi de eficiență în exploatare. Ca urmare fabricile şi radiodifuziunile sînt preocupate de a generaliza înregistrările stereo compatibile pentre a nu mai pune în circulație două tipuri de înregistrări pentru aceeaşi piesă muzicală.

În practica curentă se admite o abatere față de compatibilitatea teoretică, folosind o *compatibilitate practică* (sau *acceptabilă*), care permite unei captări stereofonice audierea monofonică fără introducerea distorsiunilor de fază sesizabile de ureche şi fără denaturări apreciabile ale perspectivei sonore. Compatibilitatea practică acceptă un dublu compromis : unul de ordin tehnic şi unul de ordin estetic.

Din punct de vedere tehnic se impune condiția (realizată prin amplasament şi prelucrarea semnalului) ca semnalele laterale să nu producă distorsiuni mai mari decît valoarea sesizabilă de ureche, admițînd în aceste condițiuni, contrar teoriei, ca fiind compatibil chiar şi procedeul AB. Pentru limitarea distorsiunilor, acestea pot fi măsurate cu aparate speciale sau, în lipsa acestora, prin controlul formei figurilor complexe Lissajou vizualizate pe un osciloscop catodic.

Problema se poate rezolva, deoarece pentru o sursă de semnal laterală captată de două microfoane (AB) depărtate, distorsiunile existente pe frecvențele înalte (datorită diferențelor de timp) sînt prezente din cauza unor semnale dintre care unul are intensitate foarte mică față de celălalt şi deci nivelul sonor al distorsiunilor va fi mic şi va fi acoperit de semnalul mai puternic.

Aceeaşi atenuare între semnalele captate de la cele două microfoane AB ale procedeului cu cap artificial se produce pentru sursele laterale, în acest caz datorită difracției sunetului, provocată de cap.

Din punct de vedere estetic, în afara controlului auditiv al eventualelor distorsiuni, operatorul de sunet va căuta să obțină cel mai bun compromis

pentru diferențe minime de calitate între audițiile mono și stereo ale captării. În acest scop, în timpul captării „compatibile" el trebuie să aprecieze continuu senzațiile sonore obținute în aceste două situații, comutînd audiția din cînd în cînd în poziția „stereo" și „mono" și făcînd corecțiile necesare.

Este evident că rezultatul obținut depinde de pregătirea și experiența profesională și artistică a operatorului, de urmărirea ansamblului și apoi succesiv a detaliilor semnalului captat.

Compromisul estetic necesar în captările compatibile este totuși sesizabil la unele genuri, ca muzica simfonică, muzica de cameră, teatru etc., iar la alte genuri, ca operă, teatru de estradă, muzică ușoară, jazz, compromisul respectiv și compatibilitatea practică sînt acceptabile.

3.5. TERMENI UTILIZAȚI ÎN TEHNICA STEREOFONICĂ

Înțelegerea fenomenelor care apar în procesul tehnologic stereo este condiționată de cunoașterea noțiunilor și termenilor specifici acestei tehnici. În acest scop s-au precizat, în cele ce urmează, definițiile celor mai importanți și mai frecvent utilizați termeni din tehnica stereofoniei.

Stereofonia de intensitate — Procedeul la care informația privind direcția din care se percepe sursa sonoră aparentă rezultă din diferența nivelelor de intensitate acustică a semnalelor stereofonice transmise (ajunse la cele două urechi ale ascultătorului).

Stereofonia de fază — Procedeul la care informația privind direcția din care se percepe sursa sonoră aparentă rezultă din diferența de timp de sosire (corespunzătoare diferenței de parcurs între sursă și urechile ascultătorului) a undelor acustice.

Semnale stereofonice — Semnale constituite dintr-o informație stereofonică: de exemplu, A sau B, X sau Y, M sau S, semnal stînga (L) sau dreapta (R) fiecare din ele fiind transmis prin intermediul unui canal stereofonic.

Canal stereofonic — Lanț electroacustic de transmisie corespunzător unui singur semnal stereofonic.

Canalele stereofonice se clasifică după cum urmează:

- în sistem simetric: (caracteristicile de directivitate ale *microfonului de coincidență* sînt identice)
  - — Canal stereofonic numărul 1: semnal A; semnal X;
  - — Canal stereofonic numărul 2: semnal B; semnal Y.
- în sistem asimetric: (caracteristicile de directivitate ale *microfonului de coincidență* sînt, în general, diferite)
  - — Canal stereofonic numărul 1: semnal M;
  - — Canal stereofonic numărul 2: semnal S.

Semnal A — Semnalul dintr-unul din cele două canale ale unui sistem stereofonic, care conține informația corespunzătoare difuzorului din stînga ascultătorului.

Semnal B — Semnalul dintr-unul din cele două canale ale unui sistem stereofonic, care conține informația corespunzătoare difuzorului din dreapta ascultătorului.

Semnal M (semnal sumă) — Semnalul care corespunde unuia din cele două canale electroacustice ale unui sistem stereofonic și care se poate obține prin însumarea semnalelor stereofonice X și Y.

Semnal S (semnal diferență) — Semnalul care corespunde unuia din cele două canale electroacustice ale unui sistem stereofonic și care se poate obține prin diferența semnalelor stereofonice X și Y.

Semnal X — Semnal obținut în cazul stereofoniei de intensitate cu două canale, care reprezintă însumarea semnalelor M și S și care este transmis de difuzorul din stînga ascultătorului.

Semnal Y — Semnal obținut în cazul stereofoniei de intensitate cu două canale, care rezultă din diferența semnalelor M și S și care este transmis de difuzorul situat în dreapta ascultătorului.

Microfon de coincidență — Microfon stereofonic utilizat în cazul stereofoniei de intensitate, care cuprinde două traductoare electroacustice situate adiacent în aceeași unitate constructivă.

Transformare sumă-diferență — Operațiile de însumare și de scădere a două semnale stereofonice.

S-a stabilit următoarea corespondență :

$$A + B \text{ (respectiv } X + Y) = pM \text{ (semnal sumă)},$$
$$A - B \text{ (respectiv } X - Y) = pS \text{ (semnal diferență)},$$
$$M + S = qA \text{ (respectiv } qX),$$
$$M - S = qB \text{ (respectiv } qY),$$

p și q fiind factori de proporționalitate.

Percepție monoaurală — Perceperea cu o singură ureche.

Sistem monofonic — Sistem de captare, înregistrare, transmisiune și reproducere a unei producții sonore necesitînd instalații electroacustice cu un singur canal.

Percepție binaurală — Perceperea sunetului cu ambele urechi.

Sistem stereofonic — Sistem de captare, înregistrare, transmisiune și de reproducere a unei producții sonore, necesitînd instalații electroacustice cu două sau mai multe canale.

Sursă sonoră aparentă — Imaginea unei surse sonore în timpul reproducerii ei electroacustice.

Bază — Linia dreaptă care unește difuzoarele utilizate într-un sistem de reproducere stereofonică.

Mărimea bazei — Distanța între două microfoane amplasate la o distanță oarecare unul față de celălalt și utilizate în stereofonia de fază (la înregistrare) sau distanța între difuzoare la reproducere.

Localizarea centrului — Proprietatea auzului de a localiza un fenomen sonor transmis stereofonic, ca o sursă sonoră aparentă, amplasată într-un punct situat în mijlocul bazei, cu condiția ca semnalele stereofonice să fie identice ca fază și ca amplitudine.

Suprafață utilă pentru audiția stereofonică — Suprafața situată de ambele părți ale planului perpendicular pe mijlocul bazei, în cuprinsul căreia este posibilă o bună localizare a centrului.

Informație direcțională — Informația obținută de un ascultător asupra direcției în care se găsesc una sau mai multe surse din încăpere. În cazul transmisiunii stereofonice, determinarea direcției se face pe baza diferențelor dintre nivelele de intensitate sonoră ale undelor acustice ce ajung la urechile ascultătorului, precum și pe baza diferențelor dintre momentele lor de sosire.

Compatibilitate — Un sistem stereofonic este compatibil cînd permite obținerea prin intermediul său a unui semnal monofonic corespunzător din punct de vedere al calității tehnice și artistice.

Procedeul pseudostereofonic — Procedeul de obținere a unor efecte stereofonice pornind de la semnale monofonice.

Procedeul cuadrofonic — Procedeu de captare, transmisie și redare a sunetului cu patru canale; reproduce mai fidel imaginea complexă a unui ansamblu de surse sonore.

Canal cuadrofonic — Lanț electroacustic corespunzător unui singur semnal cuadrofonic.

3.6. PROCEDEUL CUADROFONIC DE REPRODUCERE A SUNETULUI

Așa cum s-a precizat la început, reproducerea sunetului cît mai aproape de realitate în alt loc decît cel în care se află sursa de sunet reală necesită un număr cît mai mare de microfoane, căi de transmisie și difuzoare. Practic ar fi necesar un număr de căi captare-reproducere egal cu numărul surselor de sunet care constituie scena sonoră care ne interesează.

Din motive economice pentru început s-a adoptat sistemul stereofonic cu două canale electroacustice, care s-a dezvoltat suficient de mult, devenind în prezent o necesitate firească pentru majoritatea iubitorilor de muzică.

După cum a rezultat din studiul de bază și enunțarea principalilor stereofoniei pe două canale, aceasta are o serie de neajunsuri și limitări care pentru cei mai pretențioși melomani nu sînt acceptabile. Astfel, stereofonia pe două canale rezolvă bine problema refacerii scenei sonore într-un spațiu cu două dimensiuni, cea de a treia fiind destul de imprecis conturată.

Așa cum s-a constatat experimental într-o sală de concert sau de teatru, la audiția directă sînt două efecte majore care se disting de către un ascultător: *efectul de perspectivă* (de spațiu) și *efectul de atmosferă* (reverberația de ansamblu). Aceste efecte dau ascultătorului posibilitatea să aprecieze diferențele care există între sursele sonore și să atribuie o localizare proprie pentru fiecare. În acelasi timp ascultătorul aude toate sunetele reflectate, făcînd o apreciere a atmosferei care constituie de fapt reverberația de ansamblu a sălii respective. Aceste elemente crează condițiile necesare ca ascultătorul să se simtă ca făcînd parte din ansamblul scenei sonore la care asistă.

Pentru a îmbunătăți reproducerea unei scene sonore față de stereofonia pe două canale, astfel ca imaginea să fie mai aproape de realitate, s-a experimentat soluția de captare și reproducere a sunetului cu *patru* canale independente, denumită pe scurt *cuadrofonie*.

Elementele care compun un sistem cuadrofonic sînt reprezentate în fig. 3.27. Așa cum rezultă din această schemă, cele patru microfoane cu care se face captarea sunetului, dispuse într-un amplasament bine precizat, sînt conectate la patru căi de amplificare care la rîndul lor furnizează semnal la patru difuzoare amplasate în corespondență geometrică cu amplasamentul microfoanelor.

Acest sistem cuadrofonic, numit și „spațial", captează scena sonoră cu patru microfoane dispuse cîte două în față — respectiv unul stînga M_{SF} și unul dreapta M_{DF}, pentru a capta sunetul de bază care va crea la reproducere *perspectiva* audiției — și două microfoane în spate — respectiv unul în stînga M_{SS} și unul în dreapta M_{DS}, pentru a capta în principal sunetele reflectate și care vor da la reproducere *atmosfera* sau reverberația de ansamblu a scenei sonore captate.

Atunci cînd se respectă riguros corespondența de amplasament a difuzoarelor cu a microfoanelor și cînd se asigură amplificarea și faza corectă a fiecărei căi de amplificare se obține o reproducere a sunetului foarte fidelă creînd ascultătorului o impresie auditivă superioară celei obținute prin sistemul de stereofonie cu două canale.

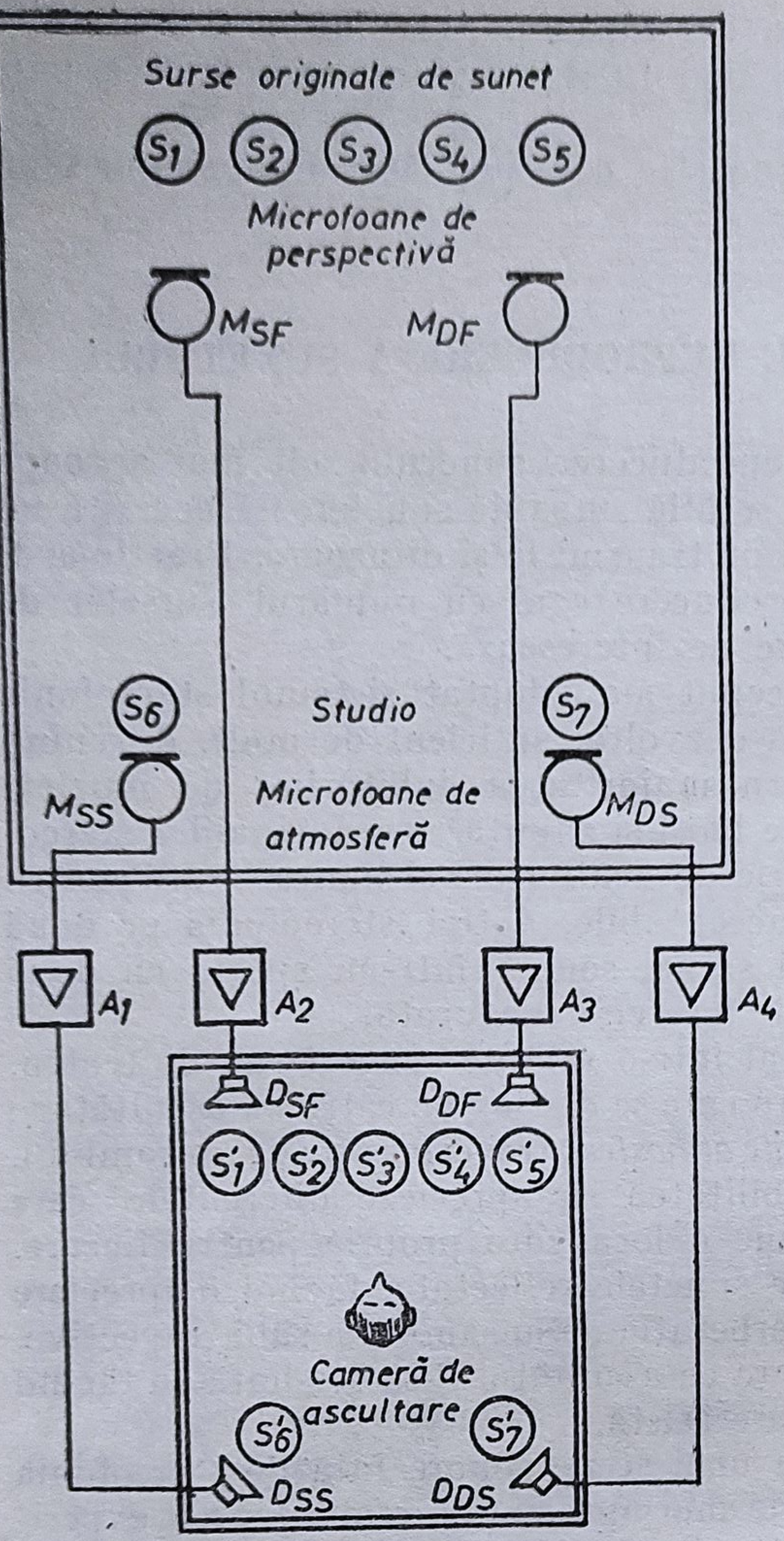


Fig. 3.27. Procedeul cuadrofonic de captare și reproducere a sunetului.

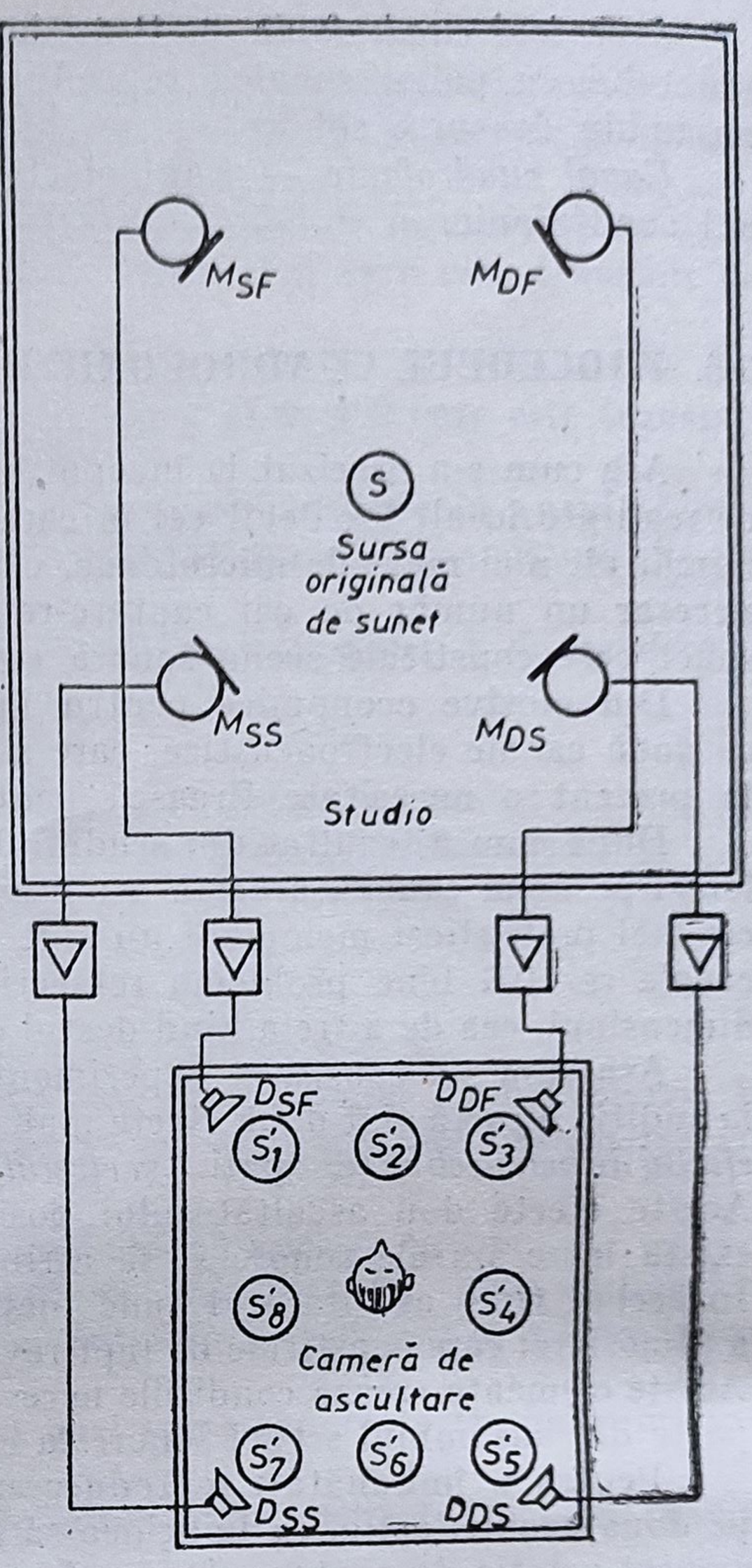


Fig. 3.28. Producerea efectelor sonore cu ajutorul procedeului de captare cuadrofonic

În funcție de dorința și imaginația regizorului artistic și a inginerului de sunet se pot dezvolta variante diferite de materializare a sistemului cuadrofonic. De exemplu, cele patru microfoane pot fi amplasate pentru a contura spațiul formației muzicale sau de teatru captate, iar difuzoarele se amplasează în încăperea de ascultare folosind tot spațiul pe care îl avem la dispoziție. Sau, dacă se urmărește înlăturarea unor deficiențe pe care le are stereofonia pe două canale (cum sînt neuniformitatea distribuției surselor sonore sau apariția golului de mijloc), se adoptă soluția de amplasare a celor patru microfoane și difuzoare după principiul enunțat la sistemul stereofonic cu două canale, renunțînd la efectul de spațiu.

Sistemul cuadrofonic poate fi folosit de asemenea pentru producerea unor efecte acustice spațiale prin diferite aranjamente geometrice ale microfoanelor, difuzoarelor, precum și prin modificări ale amplificărilor și fazelor celor patru căi de amplificare.

În fig. 3.28 se exemplifică un efect care poate fi produs în cadrul sistemului cuadrofonic.

Astfel, o sursă sonoră S amplasată central poate fi redată ca o sursă care se deplasează în spaţiu de jur împrejurul ascultătorului în ordinea S'_1, S'_2, S'_3... S'_8 prin comutări şi întreruperi potrivite ale alimentării celor patru difuzoare, într-o anumită ordine. Se poate deplasa imaginea sursei în orice poziţie prin alimentarea unui difuzor, a două sau a trei. De exemplu, alimentînd numai difuzoarele D_{SF} şi D_{SS} vom avea imaginea S'_8, alimentînd numai difuzoarele D_{DF} şi D_{DS} vom avea imaginea S_4, aşa mai departe.

Un alt efect este acela de a face ca imaginea unei surse sonore (fixe în realitate) să se deplaseze din plan central spre ascultător, reglînd în mod continuu nivelul de intensitate a celor două difuzoare spate de la zero la nivel maxim, în ritmul în care dorim să se efectueze această deplasare etc.

Dar există mai multe surse sonore în realitate, rezultatul combinaţiilor care se pot face este foarte complex şi deci şi efectele artistice rezultate sînt foarte variate.

În concluzie, sistemul cuadrofonic de captare şi redare a sunetului permite o multitudine de posibilităţi de îmbunătăţire a calităţii audiţiei, iar alegerea şi folosirea acestor posibilităţi depinde în exclusivitate de măestria şi experienţa celor care-l folosesc.

Capitolul 4

Microfoane

Prin microfon se înțelege dispozitivul cu ajutorul căruia se realizează captarea semnalelor sonore și transformarea lor în semnale electrice. Din microfon fac parte integrantă atît transductorul cît și dispozitivele acustice pasive și active existente pînă la bornele de ieșire specificate de constructor.

Microfonul este elementul principal pentru captarea sunetului în orice sistem de reproducere și de aceea este necesar să se cunoască bine tipurile folosite și caracterele lor.

De alegerea cea mai potrivită a tipurilor și caracteristicilor microfoanelor folosite la adoptarea schemelor de amplasament (corespunzătoare genului și structurii scenelor sonore) depinde în cea mai mare măsură calitatea sunetului înregistrat și reprodus în alt loc și în alt timp.

Principiile constructive, de funcționare, parametrii și caracteristicile de bază ale microfoanelor sînt aceleași atît pentru microfoanele monofonice cît și pentru cele stereofonice, capsulele microfoanelor fiind identice. De asemeni, în cele mai multe situații, la captarea stereofonică a sunetului se folosesc microfoane monofonice (procedeul AB apropiat și depărtat, procedeul cu panoramare, microfoane auxiliare etc).

Deoarece capsulele microfonice sînt aceleași atît pentru microfoanele monofonice cît și pentru cele stereofonice, se vor prezenta pe scurt tipurile de capsule microfonice, principiile de funcționare și parametrii acestora.

4.1. FORMA ȘI DIMENSIUNILE MICROFOANELOR

Microfonul introdus în cîmpul sonor al unei surse trebuie să reproducă fidel caracteristicile undei sonore din acel punct, fără să perturbe prin prezența sa cîmpul sonor.

Această condiție impune anumite restricții privitor la dimensiunile microfonului. În adevăr, dacă o undă sonoră întîlnește un obstacol, cum este microfonul, ea se reflectă de suprafața acestuia. Intensitatea undei reflectate depinde de raportul dintre lungimea de undă a sunetului și dimensiunile obstacolului. Dacă obstacolul, în cazul acesta microfonul, are dimensiune mare față de lungimea de undă ($D > \lambda$), unda reflectată este puternică. În urma acestui efect de *difracție* este posibil ca în fața microfonului să existe două unde, cea directă și cea reflectată, ale căror intensități

să se adune şi să mărească efectul exercitat asupra diafragmei, iar în spate să se producă un fel de undă sonoră. Fiind legat de lungimea de undă, efectul de difracţie variază cu frecvenţa sunetului.

Rezultă că un microfon poate transmite fidel o anumită frecvenţă numai atunci cînd dimensiunea lui este *mai mică* decît lungimea de undă corespunzătoare. De exemplu, pentru a reda frecvenţa de 10 000 Hz, microfonul trebuie să aibă un diametru mai mic decît :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{34\,000}{10\,000} = 3{,}4 \text{ cm}$$

La frecvenţe mari, această condiţie este greu de realizat în practică, mai ales dacă se cere ca microfonul să aibă o bandă de lucru pînă la 15 000 Hz, cum este cazul microfoanelor de calitate ; din acest motiv, fenomenul de difracţie se face simţit sub forma unei directivităţi la frecvenţe, în medie, mai mari de 2 000—3 000 Hz. Dar la frecvenţe înalte la această directivitate se mai adaugă încă un efect de directivitate, cauzat de undele care cad oblic pe diafragmă. El se manifestă printr-o redare mai slabă a undelor cu frecvenţă ridicată care vin lateral, faţă de cele care cad perpendicular pe diafragma microfonului, adică la frecvenţe înalte se produce un efect de directivitate, care se adună cu efectul de directivitate dat de difracţie. Din studiile făcute privitor la diversele forme ale carcasei microfonului a reieşit că, la aceleaşi dimensiuni, sfera dă cel mai mic efect de difracţie. De aceea, microfoanele de calitate au de obicei formă *sferică*.

Diafragma (*membrana*)

La cele mai multe microfoane elementul principal îl constituie diafragma, care vibrează sub acţiunea undelor sonore.

Diametrul ei trebuie să corespundă condiţiilor de minimă difracţie. Aceasta ar însemna reducerea dimensiunilor ei, dar, cum o dată cu micşorarea suprafeţei diafragmei se micşorează şi sensibilitatea microfonului, dimensiunea diafragmei rezultă dintr-un compromis între cerinţele contradictorii amintite.

Diafragma este construită uneori dintr-o foiţă metalică bine întinsă, fixată rigid pe carcasa microfonului. Un astfel de sistem are o frecvenţă proprie de vibraţie mecanică, care trebuie să se găsească în afara benzii frecvenţelor transmise, pentru a nu se produce efecte de amplificare nedorite a frecvenţelor din apropierea frecvenţei proprii. Această condiţie se realizează alegînd convenabil grosimea diafragmei şi tensiunea de întindere.

4.2. CARACTERISTICILE MICROFOANELOR

Microfoanele pot fi caracterizate printr-o serie de indici calitativi, care constituie date importante pentru utilizarea acestora în instalaţiile de captare a sunetului.

a) *Sensibilitatea*

Tensiunea electrică ce apare la bornele microfonului este proporţională cu presiunea sonoră exercitată asupra membranei, respectiv cu viteza par-

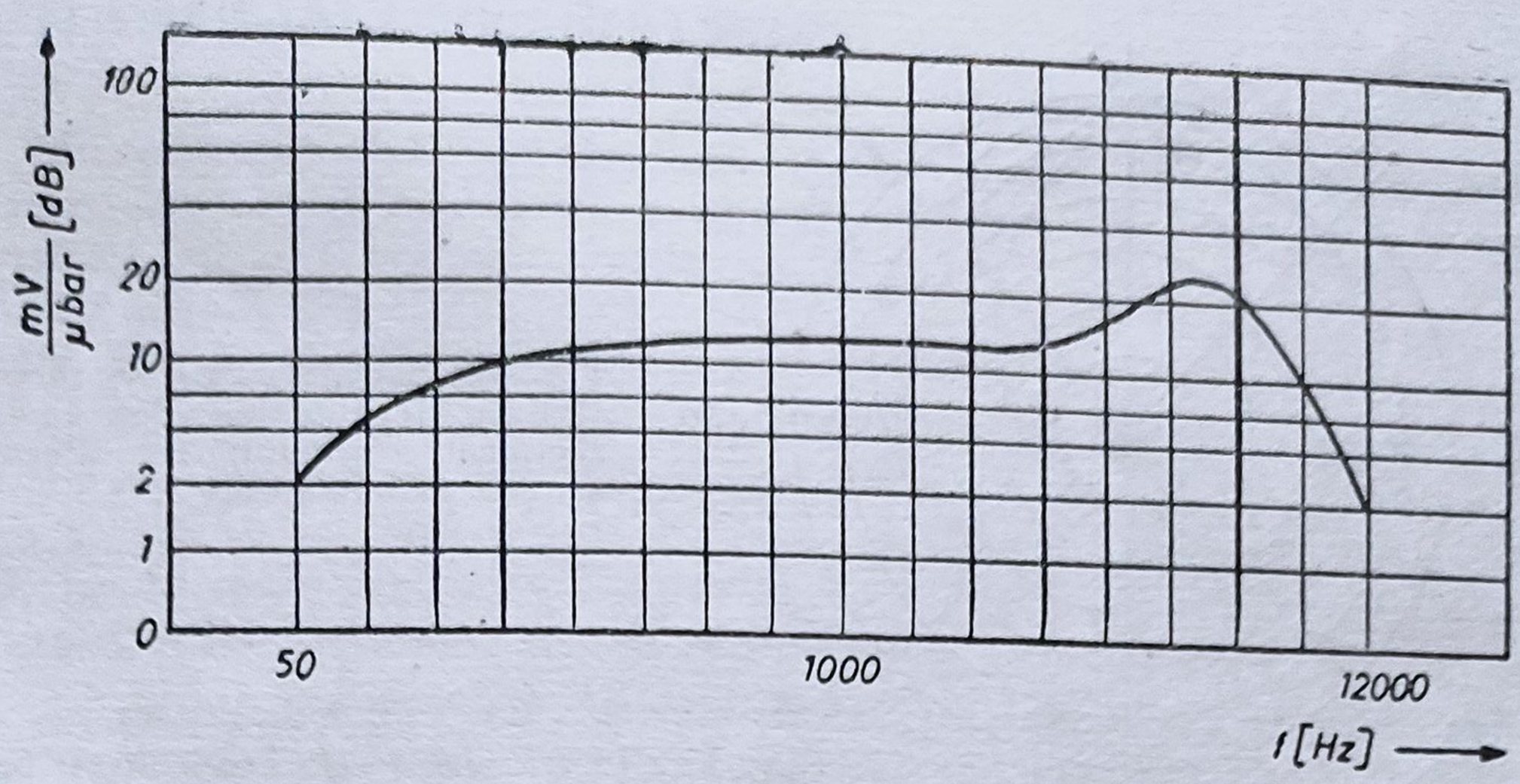


Fig. 4.1. Caracteristica de frecvență a unui microfon.

ticulelor de aer care antrenează membrana. Sensibilitatea se definește ca raportul dintre tensiunea electrică, în milivolți, dată de microfon, și presiunea sonoră excitatoare, în microbari. O dată cu indicarea sensibilității trebuie să se specifice și modul cum a fost măsurată tensiunea — în gol sau pe o rezistență de sarcină. Sensibilitatea se mai exprimă și în *decibeli*, luîndu-se ca nivel de referință sensibilitatea de 1 V/μbar.

b) *Caracteristica de frecvență* (fig. 4.1)

Sensibilitatea microfoanelor variază cu frecvența sunetelor; caracteristica de frecvență care arată această dependență se dă fie indicînd abaterile sensibilității față de sensibilitatea la frecvența de 1 000 Hz, fie prin reprezentarea curbei de variație a sensibilității. Abaterile se indică de obicei în decibeli.

c) *Rezistența internă* a microfoanelor depinde de tipul constructiv și de principiul de funcționare. În majoritatea cazurilor rezistența internă este chiar impedanța de ieșire a microfonului (microfoanele dinamice au rezistență internă *mică* iar microfoanele condensator au rezistență internă *mare*).

În funcție de valoarea rezistenței interne se stabilește lungimea admisibilă a cablului de legătură dintre microfon și preamplificator care nu afectează calitatea semnalului, respectiv la microfoanele cu rezistență mică se poate conecta un cablu de legătură mai lung, iar la cele cu rezistență mare un cablu de legătură mai scurt.

d) *Distorsiunile de neliniaritate*

În afară de microfoanele cu cărbune, toate microfoanele au distorsiuni relativ mici; se indică în general *factorul de distorsiuni* la o presiune foarte mare (200 μbari).

e) *Zgomotul de fond*

Dacă un microfon este plasat într-un mediu complet liniștit (presiunea acustică fiind nulă), ar trebui ca tensiunea de la bornele sale să fie zero. Totuși, la bornele microfonului apare o mică tensiune datorată unor surse interne de zgomot care se raportează la sensibilitatea microfonului și se exprimă în decibeli.

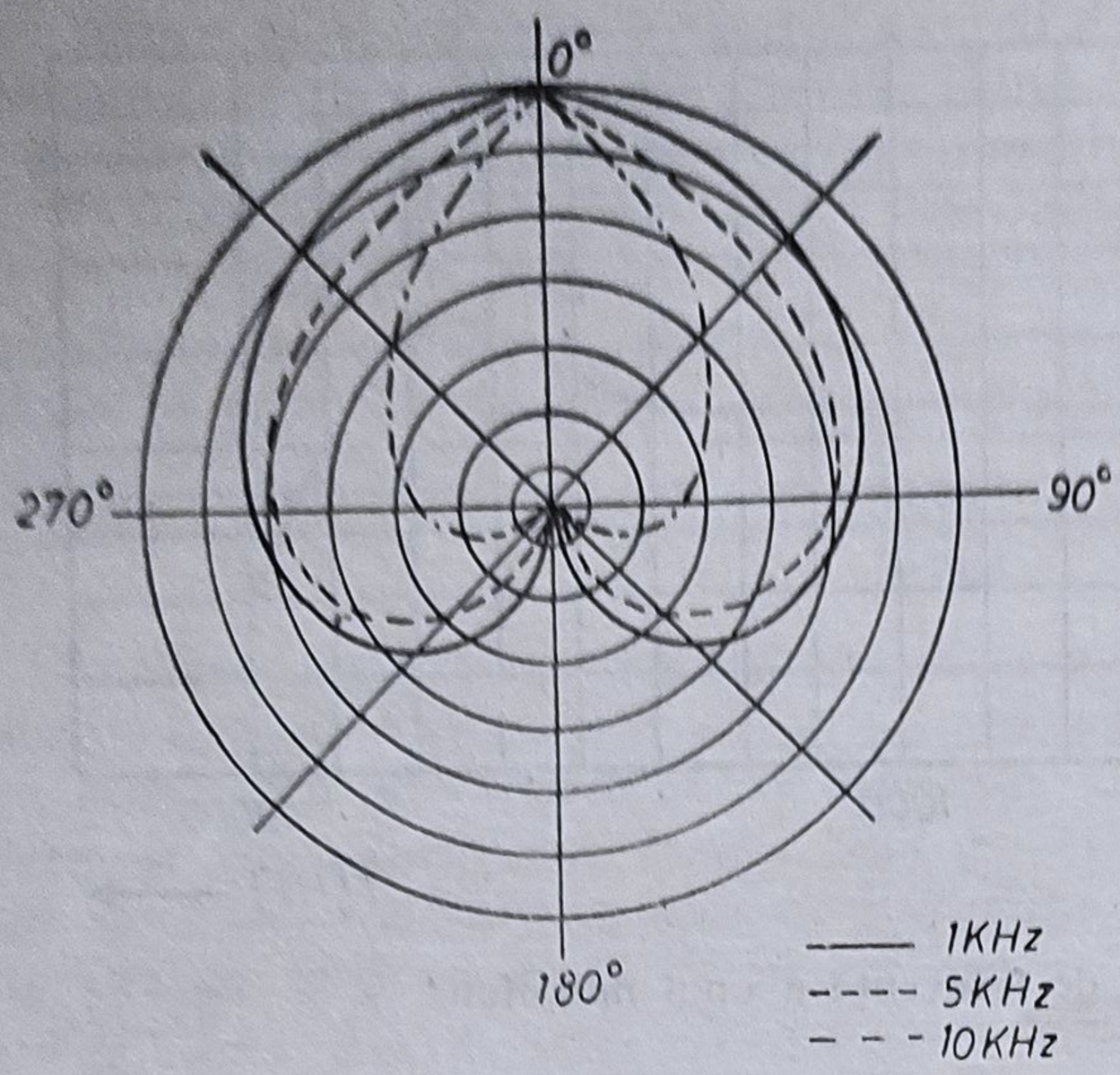


Fig. 4.2. Caracteristicile de directivitate ale unui microfon unidirecțional (cardioid) la diferite frecvențe.

f) *Caracteristica de directivitate* (fig. 4.2)

Această caracteristică se urmărește pe *diagramele polare.* Aici microfonul este figurat în centrul diagramei, cu fața spre diviziunea zero. Spatele microfonului corespunde la 180°. Pe diagramă sînt trasate o serie de cercuri la distanțe egale. Cercul exterior reprezintă sensibilitatea maximă, centrul figurii reprezintă sensibilitatea nulă. Pe această diagramă se notează sensibilitățile obținute la măsurări la aceeași frecvență a sunetului, pentru diferite unghiuri dintre axa microfonului și direcția undei sonore. Unind toate punctele se obține o curbă polară. Pe aceeași diagramă se trasează polarele pentru mai multe frecvențe și se obține astfel o imagine clară a proprietăților directive ale microfonului. Caracteristica de directivitate a unui microfon variază cu frecvența, microfonul fiind în general mai directiv la frecvențele înalte decît la cele joase (fig. 4.2).

Curbele polare înlesnesc alegerea tipului de microfon și arată amplasamentul optim față de sursa sonoră. Principalele tipuri de caracteristici de directivitate sînt ilustrate în fig. 4.3.

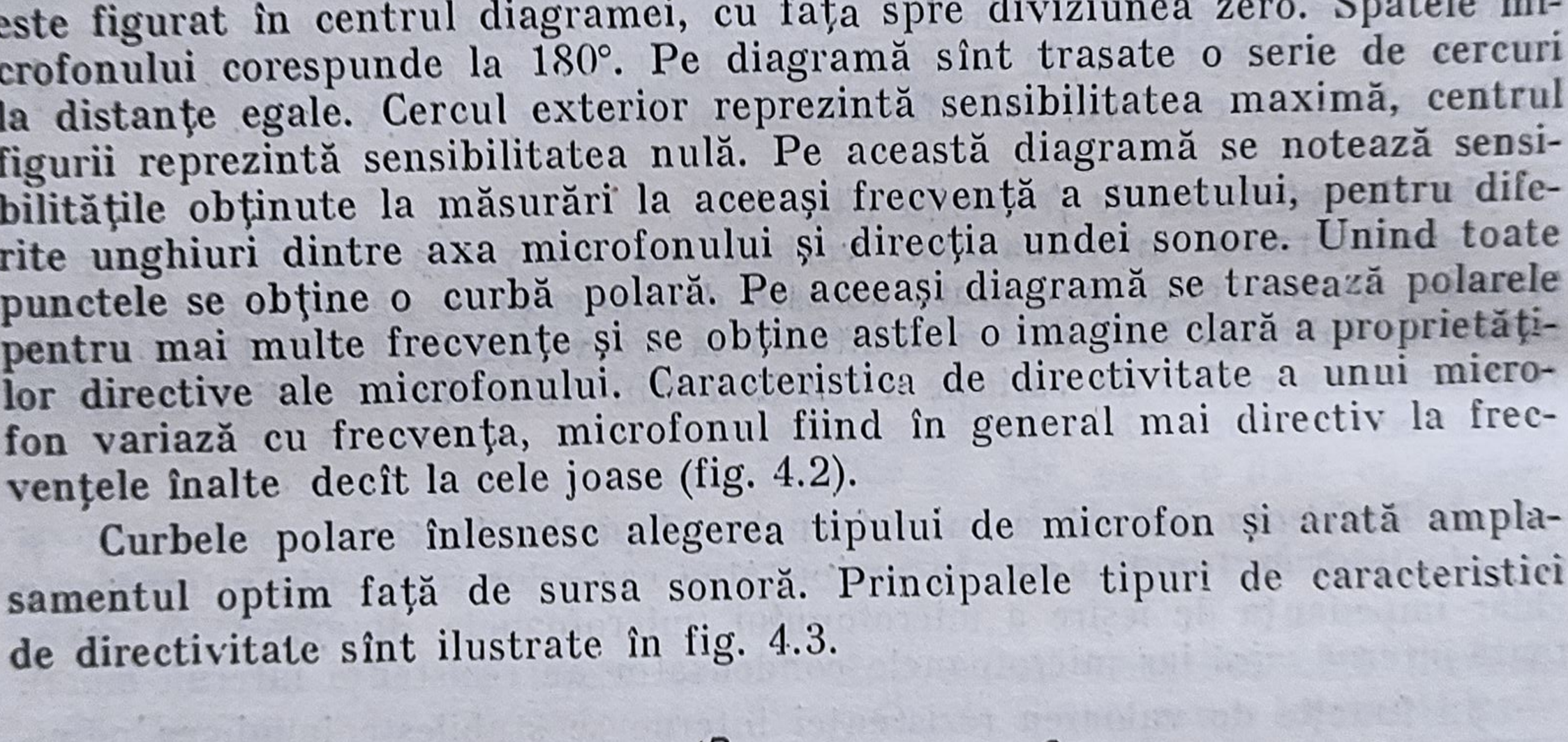


Fig. 4.3. Caracteristicile de directivitate principale ale microfoanelor: *A* — omnidirecțională; *B* — bidirecțională; *C* — cardioid; *D* — hipercardioid.

4.3. CLASIFICAREA MICROFOANELOR

Microfoanele sînt transductoare electroacustice care captează sunetele şi transformă energia acustică în energie electrică. Pentru a efectua această transformare se foloseşte variaţia momentană a presiunii aerului, cauzată de unda sonoră, sau viteza cu care oscilează particulele de aer din cauza undei sonore. Din acest punct de vedere se poate face, deci, o clasificare în :

— *microfoane de presiune*, la care folosirea unei cavităţi de aer închise, în spatele diafragmei, dă caracteristica respectivă. Astfel diafragma este supusă la două presiuni opuse : în afară se exercită presiunea sonoră variabilă, iar în spate presiunea constantă din cavitate. Diafragma vibrează sub acţiunea diferenţei dintre cele două presiuni ;

— *microfoane de viteză*, la care diafragma este liberă pe cele două feţe şi se deplasează, teoretic, cu viteză egală cu cea a particulelor de aer ;

— *microfoane combinate.*

Un alt mod de a clasifica microfoanele se referă la proprietăţile de direcţivitate :

— *microfoane omnidirecţionale*, care sînt la fel de sensibile faţă de undele care vin din toate direcţiile (caracteristică polară în formă de cerc; microfoane de presiune pentru frecvenţe sub 800 Hz) ;

— *microfoane bidirecţionale*, la care sensibilitatea este maximă pe o singură direcţie, în ambele sensuri (caracteristică polară în formă de opt ; microfoane de viteză) ;

— *microfoane semidirecţionale*, la care sensibilitatea este practic independentă de direcţia undei acustice incidente într-un unghi solid 2π (curbă de tip cardioidă ; microfoane combinate) ;

— *microfoane unidirecţionale*, cu un maxim accentuat în direcţia undelor incidente (caracteristică polară aproximativ o elipsă cu microfonul într-un focar ; microfoane de presiune pentru frecvenţe peste cîteva mii de herţi) ;

— *microfoane cu caracteristici complexe*, la care caracteristicile se pot modifica.

Un alt criteriu de clasificare a microfoanelor se bazează pe modul în care se face transformarea energiei acustice în energie electrică.

— *microfoane electrodinamice* (dinamice), la care principiul folosit este generarea unor curenţi induşi într-un conductor ce se deplasează într-un cîmp magnetic ; această clasă se subdivide în microfoane *cu bobină* („dinamice“) şi microfoane *cu bandă.*

— *microfoanele piezoelectrice* (*cu cristal*), la care sînt folosite proprietăţile piezoelectrice ale unor cristale. În această clasă se întîlnesc microfoane *celulare* şi microfoane *piezoelectrice cu membrană.*

— microfoane *electrostatice* (*cu condensator*) la care se foloseşte variaţia unei capacităţi sub acţiunea undelor sonore.

— *microfoane cu cărbune*, care se bazează pe variaţia unei rezistenţe de contact.

— *microfoane cu electreți*, o realizare bazată pe proprietățile unor materiale diaelectrice ce prezintă o electrizare permanentă ; pot fi asimilate cu microfoanele condensator la care sursa de tensiune este însuși electretul.

— *microfoane speciale* :

- microfon *cu magnetostricțiune* ;
- microfon *electronic* — variază fluxul electronic într-un tub cu vid, cînd se deplasează unul din electrozi ;
- microfonul *ionic* — variații de impendanță într-un volum de aer ionizat ;
- microfon *termic* — variații ale unei rezistențe produse de variații ale temperaturii sub efectul undelor acustice.

Din punctul de vedere al utilizării, microfoanele se împart în :

— microfon *de gură* sau *de apropiere* ;

— microfon *labial* (plasat pe buzele vorbitorului) ;

— microfon *laringofon*, care este plasat pe gîtul vorbitorului și care nu este sensibil la variațiile aerului ci la vibrațiile mecanice ale laringelui. El permite să se poată comunica din medii foarte zgomotoase.

— microfon *sondă*, care permite explorarea unui cîmp acustic fără a-l perturba, de exemplu în medicina internă.

Din multitudinea de tipuri se vor prezenta în continuare numai cele folosite în procesele de captare, a programelor muzicale și cele folosite în diferite activități conexe.

4.4. TIPURI DE MICROFOANE

4.4.1. MICROFOANE ELECTRODINAMICE (DINAMICE) CU BOBINĂ

Structura tipică este prezentată în fig. 4.4.

Bobina *B* este fixată de diafragma *D* a microfonului și este situată în întrefierul inelar *I* al magnetului permanent *M*. Cînd diafragma vibrează sub acțiunea oscilațiilor sonore, în bobina ale cărei spire intersectează liniile de forță ale cîmpului magnetic se induce o forță electromotoare proporțională cu presiunea sonoră.

Proprietățile microfoanelor electrodinamice .

— caracteristică de frecvență destul de bună (de exemplu, pentru un microfon folosit la transmisiuni de muzică de înaltă calitate neuniformitatea maximă a caracteristicii de frecvență este de circa 8 dB, în banda de frecvențe cuprinse între 50 și 15 000 Hz) ;

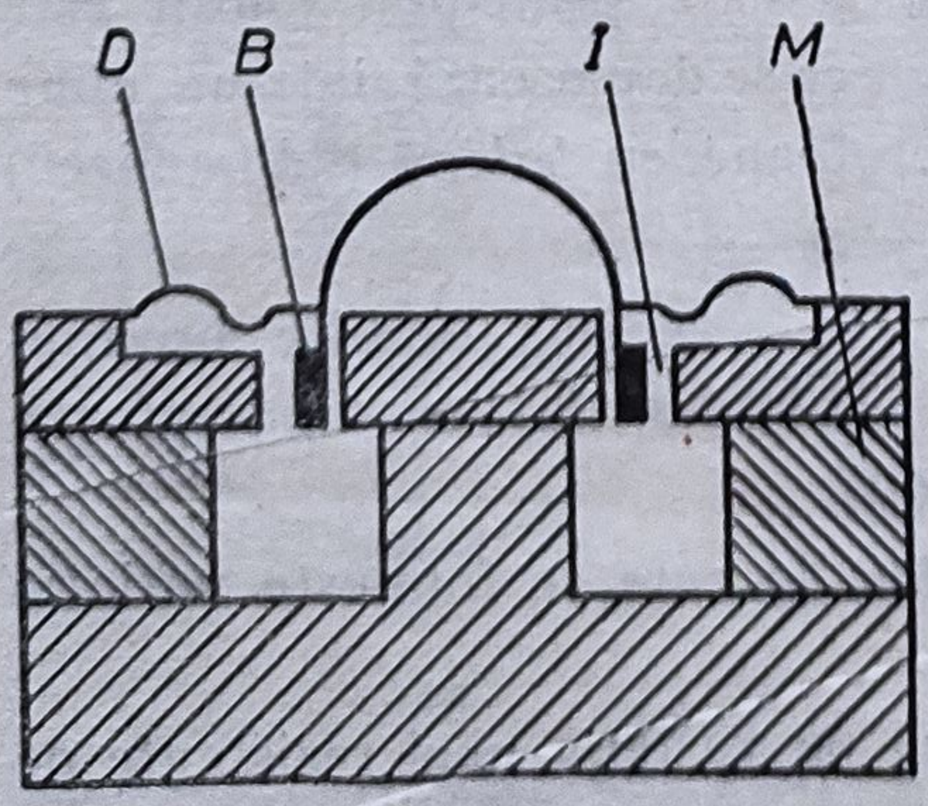


Fig. 4.4

— sensibilitate redusă (de exemplu nivelul de ieșire, la frecvența de 1 000 Hz și presiunea sonoră de 1 μbar, este de cel puțin —78 dB) ;

— nu are nevoie de surse de alimentare ;

— poate lucra în limite largi de temperatură și la umiditate ridicată ;

— nu este sensibil la trepidații.

Se utilizează în radiodifuziune la înregistrări de sunet.

4.4.2. MICROFOANE CU BANDĂ

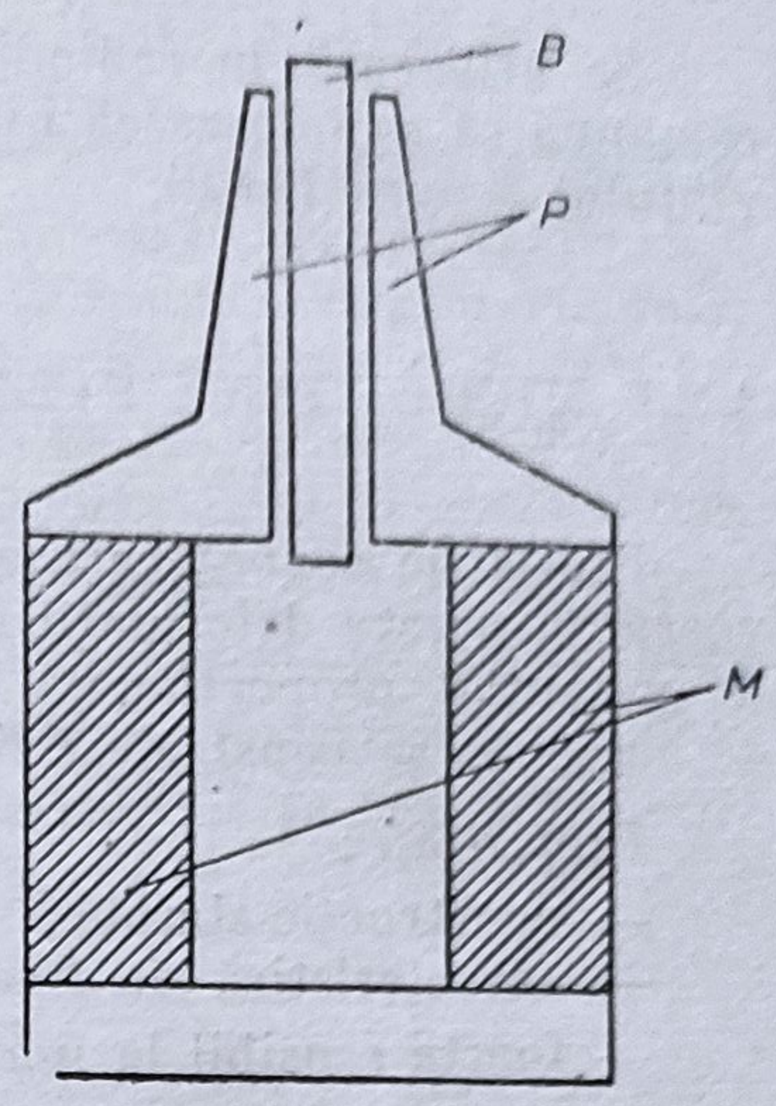


Fig. 4.5

O bandă ușoară de aluminiu *B* este suspendată între piesele polare ale unui magnet permanent puternic *M* (fig. 4.5). În ritmul vibrațiilor sonore, banda intersectează liniile de forță ale cîmpului magnetic și în ea se induce o forță electromotoare proporțională cu presiunea sonoră.

Dacă microfonul este astfel construit încît presiunea sonoră acționează numai pe o parte a benzii, el se numește microfon *de presiune*, dacă însă presiunea își exercită acțiunea asupra ambelor părți ale benzii, microfonul poartă numele de microfon *de viteză*. Combinarea unui microfon de presiune cu unul de viteză permite obținerea unui microfon *combinat cu proprietăți directive* (adică un microfon care este mult mai sensibil la sunetele ce vin dintr-o anumită direcție, fig. 4.6).

Microfonul combinat se poate realiza și dintr-un microfon cu bandă — de viteză — și un microfon dinamic.

Proprietăți

— nu are nevoie de surse de alimentare ;

— are o caracteristică de frecvență bună (de exemplu, un microfon cu bandă bidirecțional avînd o gamă de frecvență cuprinsă între 50 și 10 000 Hz prezintă o neuniformitate maximă a caracteristicii de frecvență de 5 dB) ;

— la microfonul de viteză, la distanțe mici de la sursa de sunet, sensibilitatea crește mult în domeniul frecvențelor audio inferioare ;

— sensibilitatea generală este redusă (de exemplu, la același microfon cu bandă bidirecțional, nivelul de ieșire, la frecvența de 1 000 Hz și presiunea sonoră de 1 μbar, este de cel puțin —75 dB.

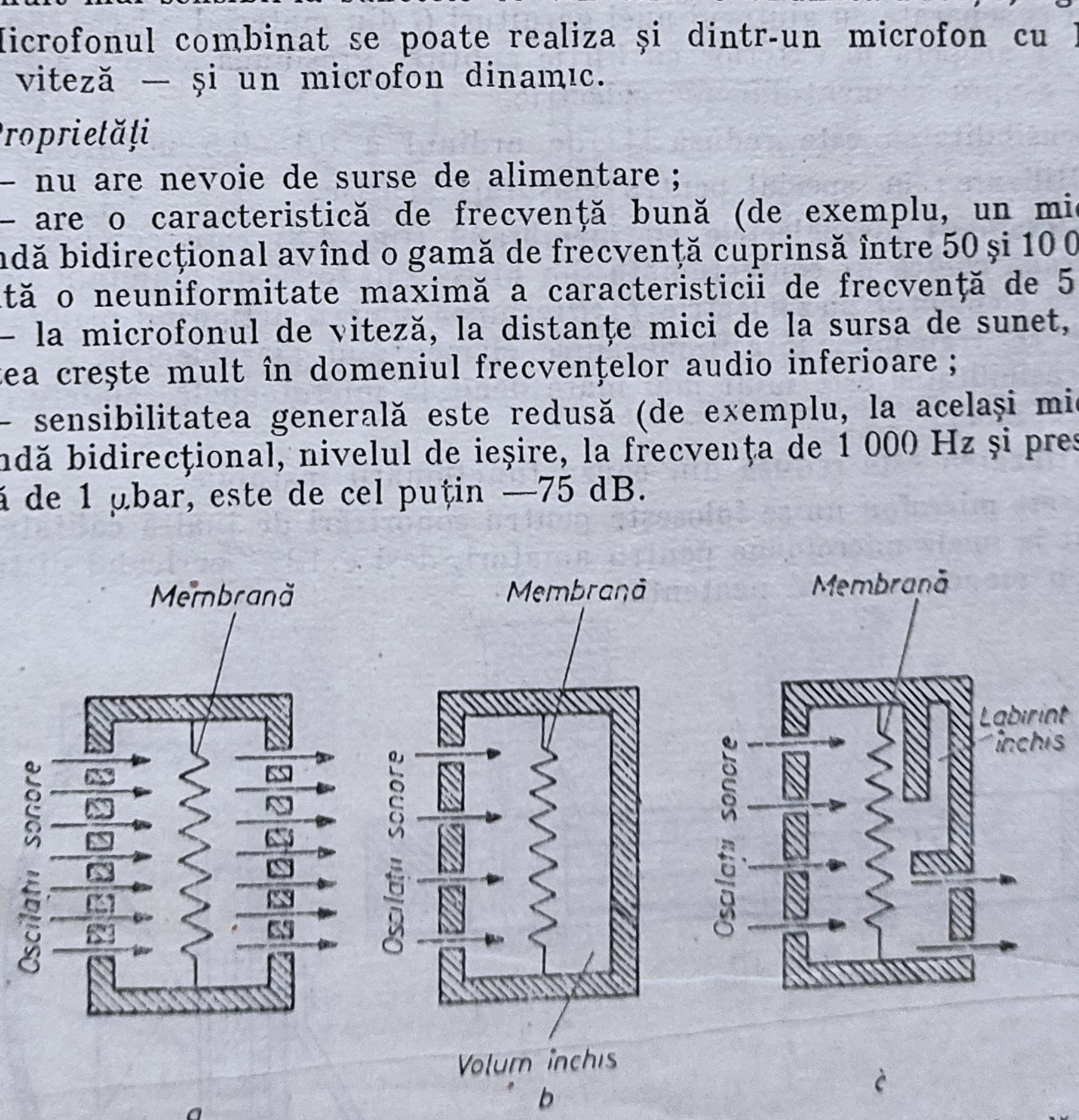


Fig. 4.6. Schița modurilor de realizare a celor trei tipuri de microfoane cu bandă : *a*) caracteristică în formă de opt ; *b*) caracteristică circulară ; *c*) caracteristică cadioidă.

Se utilizează în radiodifuziune și pentru înregistrările de sunet. Se recomandă să se folosească numai în încăperi închise pentru a evita acțiunea vîntului asupra benzii.

4.4.3. MICROFOANE PIEZOELECTRICE

Presiunea sonoră care acționează asupra unui element piezoelectric provoacă în acesta deformații mecanice, sub acțiunea cărora apare o diferență de potențial proporțională cu presiunea sonoră pe element. Microfoanele de acest tip se construiesc în două variante : *celulară* și *cu membrană.*

Proprietăți :

— construcție simplă ;
— caracteristică de frecvență suficient de bună ;
— foarte sensibil la umiditate și la variații de temperatură.
— sensibilitatea și domeniul de utilizare depinde de construcție.

Microfonul celular, prezentat schematic în fig. 4.7, este compus din două elemente piezoelectrice *P*, fixate într-un cadru *C* confecționat din material izolant și separate cu ajutorul unei garnituri *G* din material vîscos. Întreaga celulă se acoperă în exterior cu hîrtie subțire. Presiunea sonoră acționează direct asupra elementului piezoelectric.

Sensibilitatea este redusă — de ordinul a 0,1—0,5 mV/μbar.

Utilizare : în special pentru măsurări acustice.

Microfonul piezoelectric cu membrană (fig. 4.8) este compus dintr-o membrană conică *M* confecționată din hîrtie sau foiță de aluminiu și legată rigid cu elementul piezoelectric *P*. Presiunea sonoră acționînd asupra membranei se transmit vibrații mecanice elementului piezoelectric.

Sensibilitatea este mult mai mare decît la microfoanele celulare (atinge 2,5 mV/μbar).

Utilizarea este redusă din cauza funcționării instabile.

Acest microfon nu se folosește pentru sonorizări de înaltă calitate. Este întîlnit la unele microfoane pentru amatori, deși există pericolul distrugerii printr-o manevrare mai neatentă.

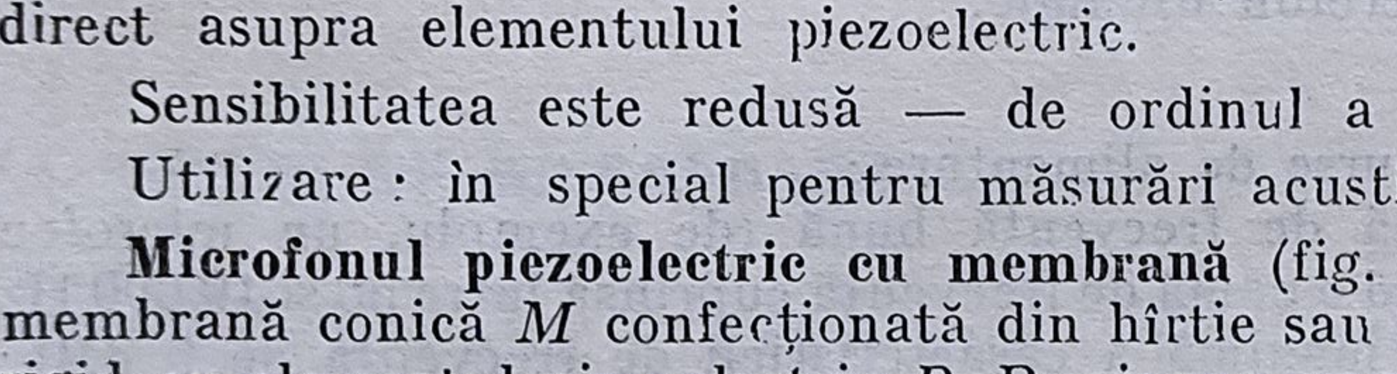


Fig. 4.7 ;

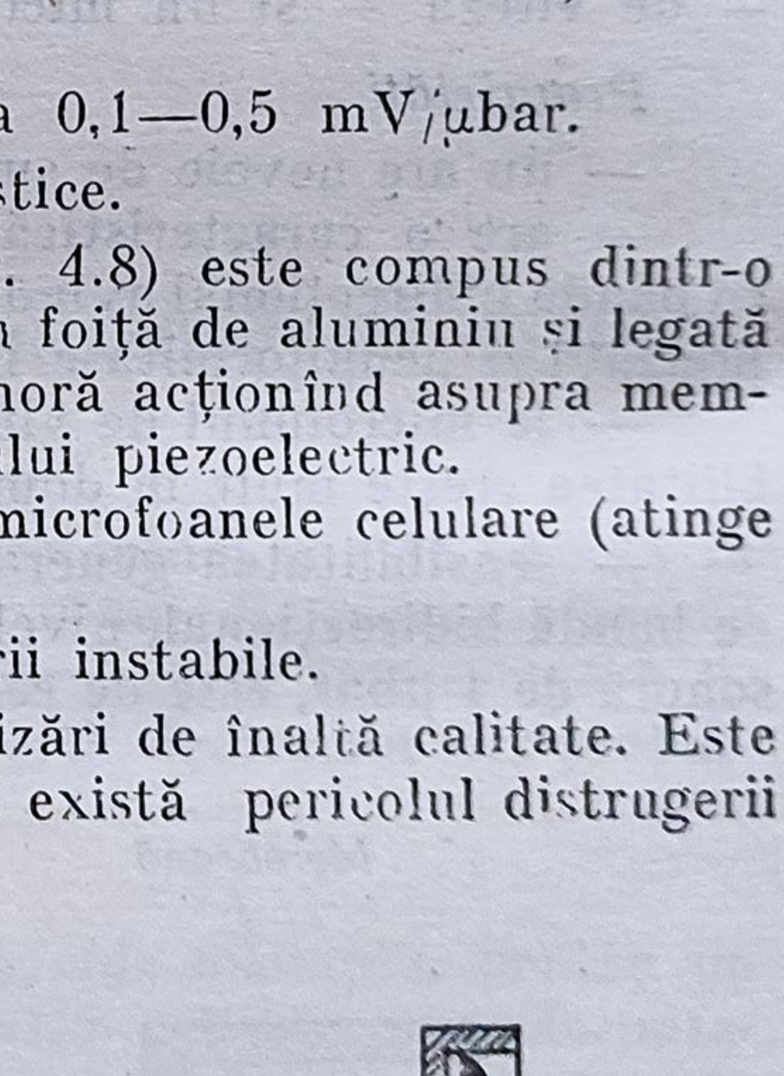


Fig. 4.8

4.4.4. MICROFOANE CAPACITIVE SAU CU CONDENSATOR

Schema de principiu a microfonului condensator este prezentată în fig. 4.9. Sub acțiunea presiunii sonore, diafragma D vibrează. Această diafragmă constituie una dintre armăturile condensatorului și anume armătura mobilă. Cealaltă armătură o formează electrodul masiv fix E. Vibrațiile diafragmei provoacă variația capacității acestui condensator, iar ca urmare în circuitul compus din microfonul M, bateria B și rezistența de sarcină R apare o tensiune electromotoare alternativă. Ca rezultat, pe rezistența R apare o tensiune de audiofrecvență alternativă, proporțională cu presiunea sonoră care se amplifică cu ajutorul unui amplificator încorporat în microfon (fig. 4.10).

Pentru a realiza diferite caracteristici de directivitate se practică o serie de orificii în armătura fixă, așa cum se arată în fig. 4.11.

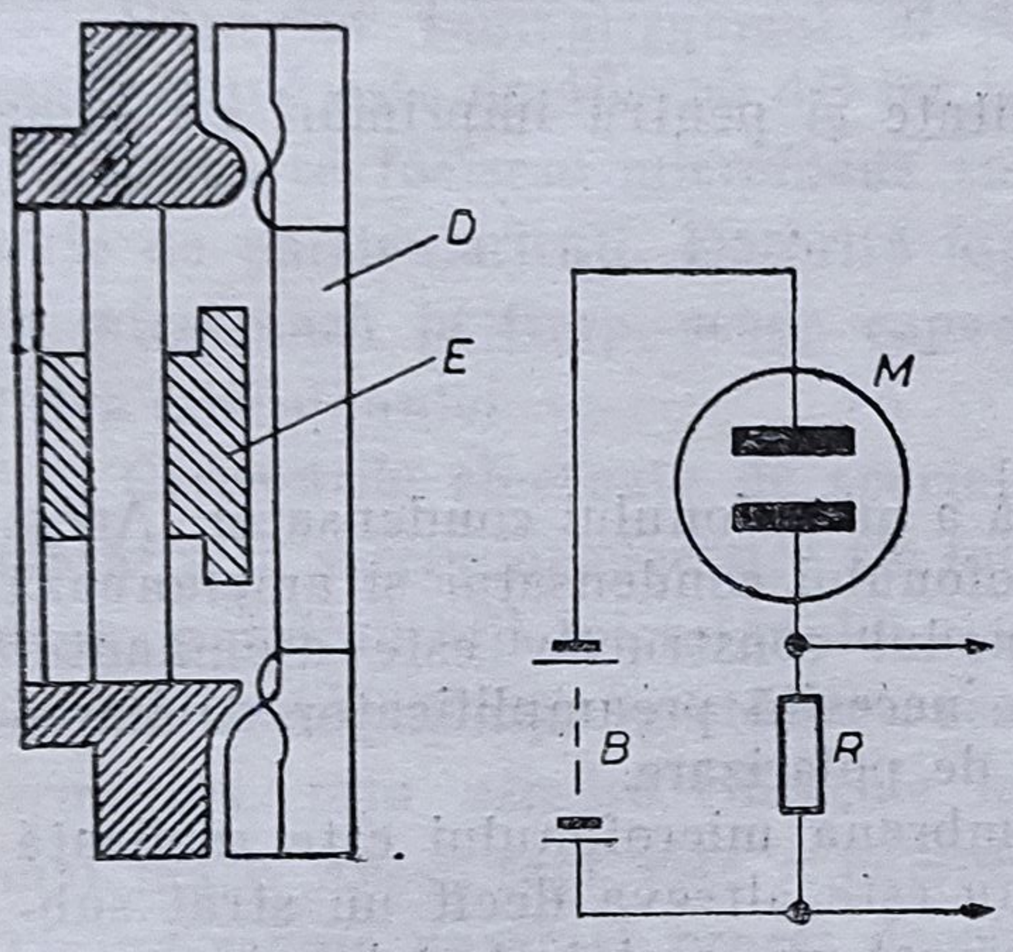


Fig. 4.9.

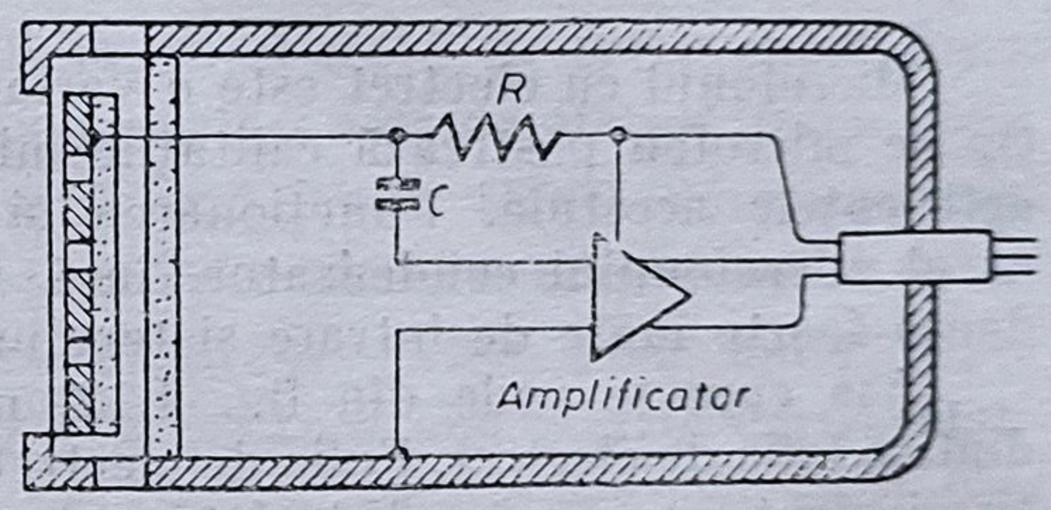


Fig. 4.10. Microfon condensator cu amplificator încorporat.

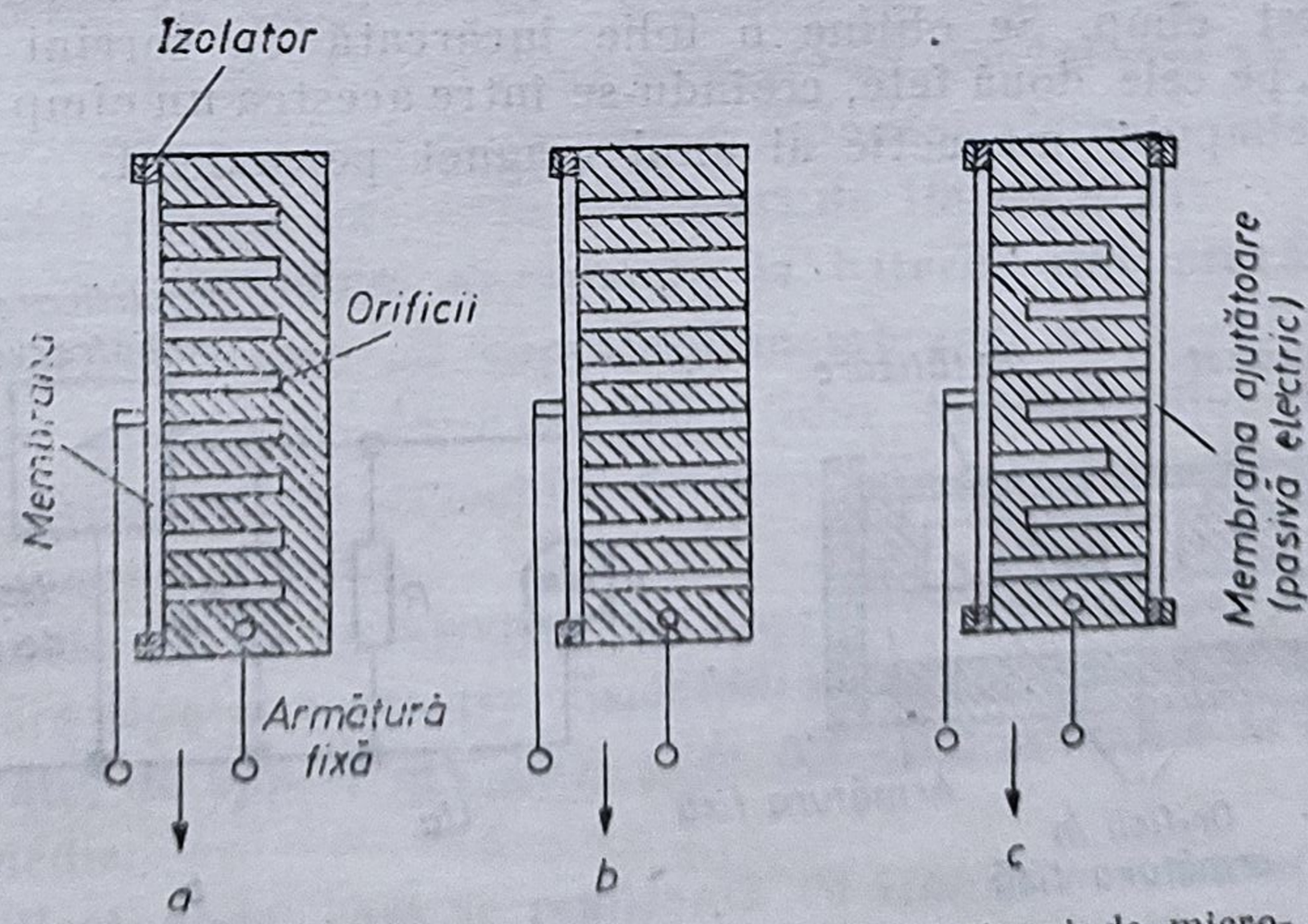


Fig. 4.11. Schița de realizare a celor trei tipuri de microfoane condensator : *a*) caracteristică circulară ; *b*) caracteristică formă de opt ; *c*) caracteristică cardioidă.

Proprietăți

— microfonul are o caracteristică de frecvență foarte uniformă (de exemplu, un microfon capacitiv unidirecțional captînd o gamă de frecvențe cuprinse între 50 și 10 000 Hz are o neuniformitate maximă a caracteristicii de frecvență de 4 dB);

— sensibilitatea este redusă (de exemplu, la același microfon, la frecvența de 1 000 Hz și presiunea sonoră de 1 μbar găsim 0,5 mV/μbar;

— necesită sisteme de alimentare complicate;

— este posibilă slăbirea diafragmei cu timpul.

Utilizarea microfonului condensator este foarte extinsă:

— în măsurări acustice;

— pentru transmisiuni și înregistrări de înaltă calitate a sunetului în studiouri, săli de concert și teatre (de exemplu un microfon capacitiv de bandă largă lucrînd într-o gamă de frecvență de 40—15 000 Hz, avînd o neuniformitate a caracteristicii de frecvență de 6 dB, are un nivel de ieșire de cel puțin —66 dB (sau sensibilitate 1,4 mV/μbar) la frecvența de 1 000 Hz și presiunea de 1 μbar);

— pentru înregistrări de înaltă calitate și pentru imprimări pe filme cinematografice.

4.4.5. MICROFOANE CU ELECTRET

Microfonul cu electret este o variantă a microfonului condensator. Acest tip de microfon păstrează calitățile microfonului condensator și ameliorează deficiențele acestuia. Funcționarea și modul constructiv este asemănător cu al microfonului condensator, însă nu necesită preamplificator cu impedanța foarte mare de intrare și tensiune de polarizare.

Așa cum se vede din fig. 4.12, membrana microfonului este realizată dintr-o folie de electret. Folia de electret nu este altceva decît un strat subțire izolant, care pe ambele fețe este încărcat cu sarcini electrice de semne opuse. Electretul se realizează în modul următor: izolantul (masa plastică) topit este supus unui cîmp electrostatic foarte puternic, sub acțiunea căruia se produce polarizarea moleculelor. Se lasă apoi folia izolantă să se răcească în acest cîmp. Se obține o folie încărcată cu sarcini electrice de semne opuse, pe cele două fețe, creîndu-se între acestea un cîmp electrostatic asemănător cîmpului magnetic al unui magnet permanent.

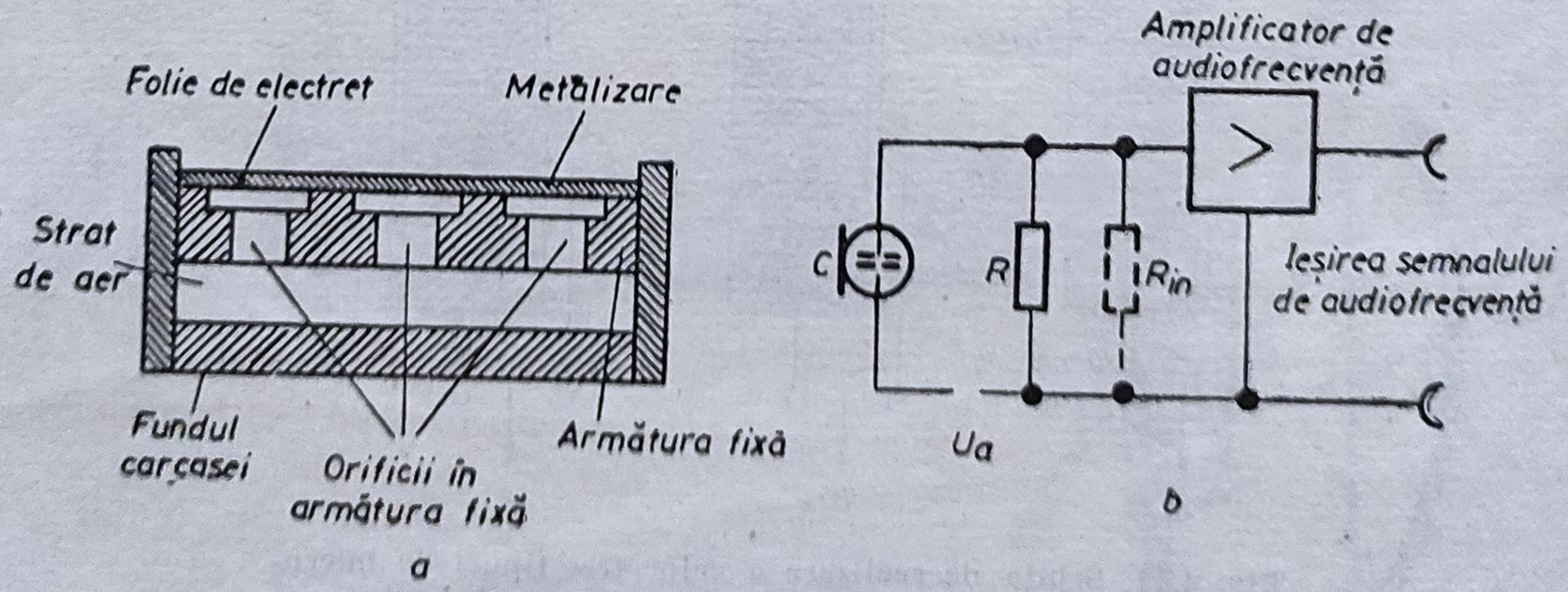


Fig. 4.12. Schița microfonului cu electret (*a*) și schema de amplificare (*b*).

Una dintre fețele foliei electret se metalizează și va constitui armătura mobilă a condensatorului. Armătura fixă rigidă, se realizează din metal, peste care se așează fața metalizată (izolată) a foliei de electret.

Între folia electret și armătura fixă există un strat de aer de ordinul μm. Prin practicarea în corpul armăturii fixe a unor orificii se mărește volumul de aer închis de folie și astfel se îmbunătățește elasticitatea membranei microfonului, și deci sensibilitatea lui.

Membrana fiind foarte subțire, capacitatea electrică este mare, de cca. 3 ori decît capacitatea microfonului condensator clasic. De asemenea, tot de cca. 3 ori scade rezistența internă față de microfonul condensator. Existența cîmpului electric în folia de electret face inutilă tensiunea mare de polarizare, necesară microfoanelor condensator.

Microfoanele cu electret de calitate medie au caracteristica de frecvență cuprinsă între 20—20 000 Hz, cu abatere de ± 3 dB. Impedanțele de ieșire uzuale sînt : 50 Ω ; 250 Ω ; 600 Ω și 1 000 Ω.

Raportul semnal/zgomot al microfoanelor cu electret de construcție mai simplă este de 46—55 dB iar la tipurile de calitate de 60—65 dB.

Dacă se folosesc microfoane cu electret trebuie să se țină seama de o serie de particularități. Datorită faptului că sarcina electrică a electretului se micșorează în timp, scade capacitatea electrică și prin urmare sensibilitatea microfonului.

Cercetările efectuate de specialiștii japonezi arată că perioada de înjumătățire a sarcinilor electrice ale foliei de electret este de 100—110 ani. Scăderea sensibilității microfonului este mult mai lentă. Odată cu micșorarea sarcinii înmagazinate în electret, scade și forța de atracție electrostatică între armături, prin urmare vibrațiile membranei vor putea avea amplitudini mai mari. Acest fapt este o compensare a scăderii electrizării electretului. Ținînd seama de acest proces de compensare, în pofida scăderii sarcinilor electrice, sensibilitatea microfonului cu electret rămîne constantă pe o durată de timp de 80—100 ani.

Microfoanele cu electret sînt realizate în diferite tipuri constructive. Dacă se reduce prea mult suprafața membranei, microfonul va fi mai puțin sensibil la frecvențe joase și va asigura o liniaritate bună a caracteristicii de frecvență numai pentru frecvențe mai mari de 100—150 Hz.

Casetofoanele portabile, alimentate la baterii, sînt prevăzute cu microfoane cu electret, care au suprafața membranei de 1—1,5 cm^2; astfel sînt eliminate zgomotele datorate vibrațiilor mecanismului de antrenare (care sînt în principal, în domeniul frecvențelor mai mici de 100 Hz), din conținutul semualului util.

Microfoanele Hi-Fi cu electret au suprafața membranei de 2—5 cm^2, corespunzătoare tipului respectiv. Sensibilitatea este, în cazul microfoanelor de bună calitate, de 0,5—1 mV/μbar și de 0,1—0,2 mV/μbar la microfoanele de calitate medie.

Preamplificatoarele, care se realizează cu tranzistoare cu efect de cîmp (TEC), în circuite discrete sau circuite integrate, de regulă sînt încorporate în microfon.

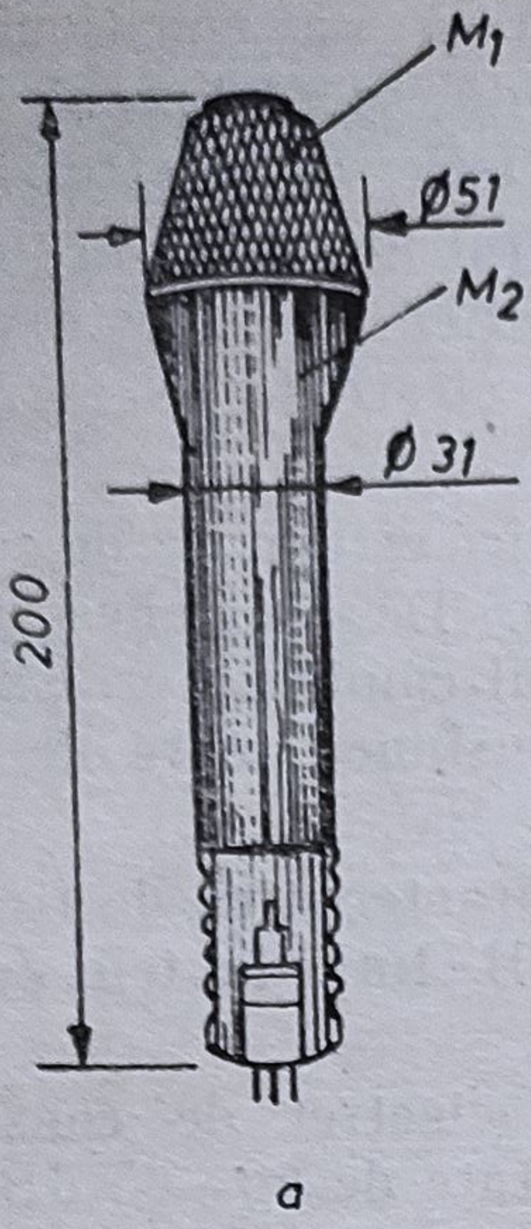
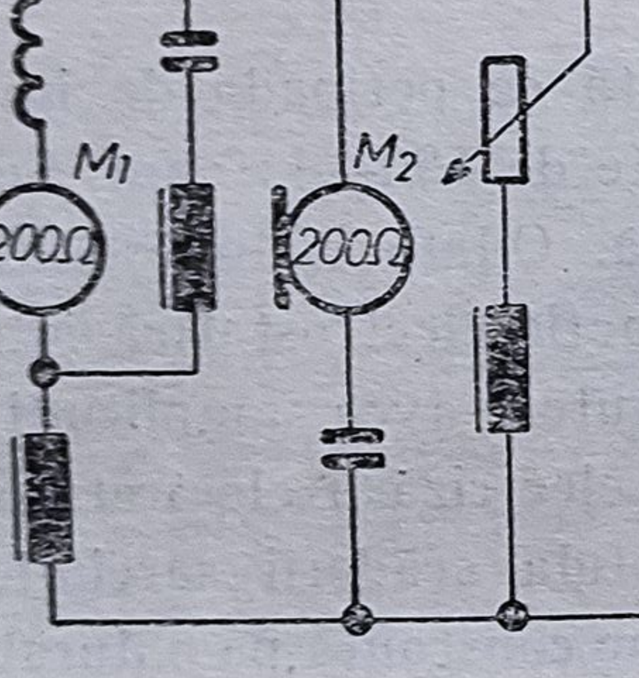
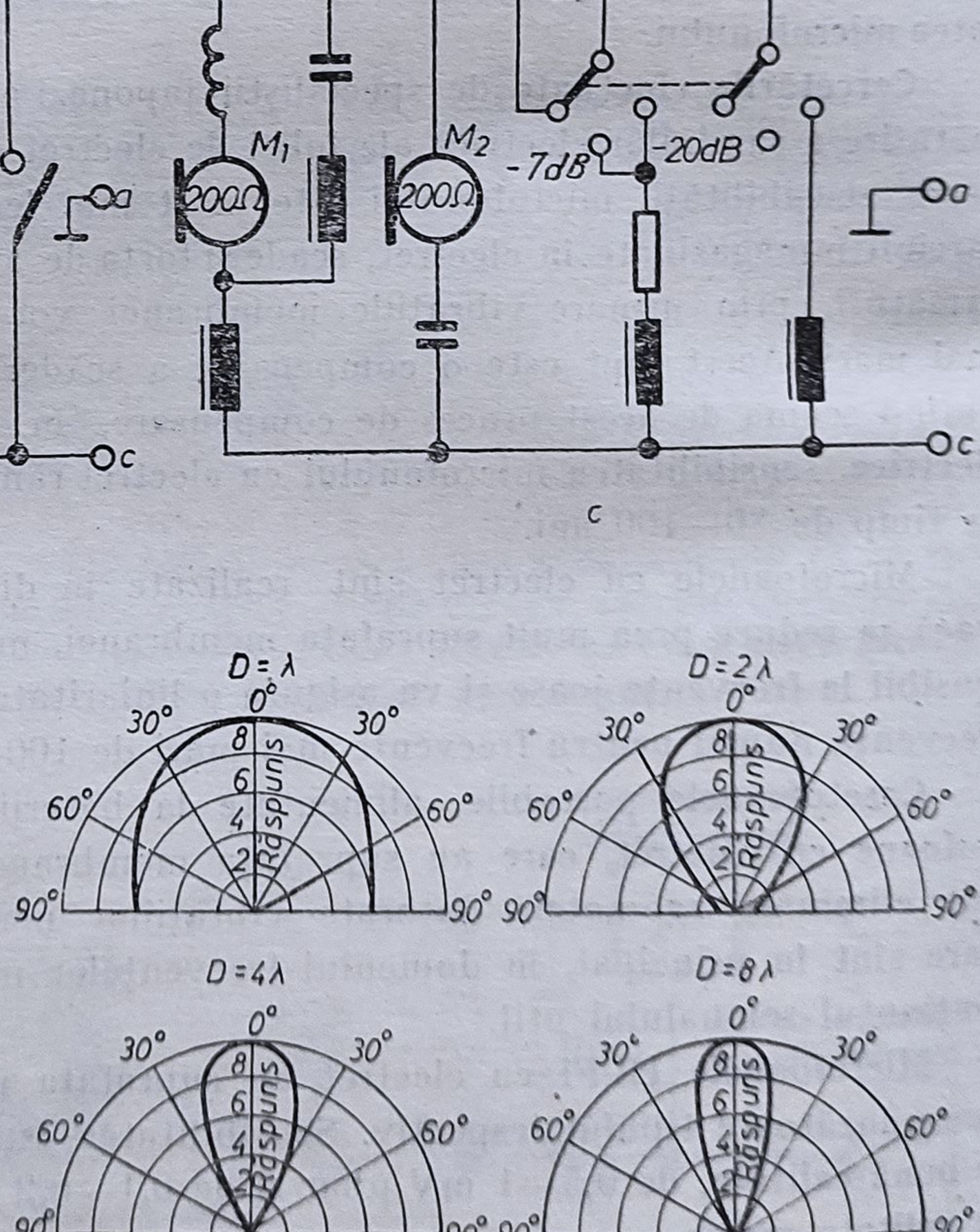


Fig. 4.13. *a*) Microfonul combinat AKG D.202; *b*, *c*) Scheme de conectare a celor două capsule ale microfonului AKG D 202.



a



b

Fig. 4.14. *a*) Microfonul cu reflector (montat în focarul parabolei); *b*) Caracteristicile de directivitate în funcție de raportul D/λ (D = diametrul parabolei).

4.4.6. MICROFOANE COMBINATE (fig. 4.13)

În același corp se pot combina două microfoane diferite, unul de presiune și unul de viteză. Astfel, la microfonul cu bobină mobilă la care membrana este sensibilă la undele care vin din față (microfon de presiune) se practică o serie de orificii laterale prin care se comunică cu volumul de aer închis, microfonul devenind sensibil și la viteză.

La un microfon cu bandă, aceasta este împărțită în două, o jumătate este prevăzută cu o cavitate posterioară, închisă, cu aer (microfon de presiune), cealaltă jumătate este accesibilă pe ambele părți cîmpului acustic (microfon de viteză). În general microfoanele combinate acustic se construiesc din microfoane cu bobină și microfoane cu bandă sensibile la viteză.

Prin comutări electrice între cele două unități distincte (microfon de presiune și microfon de viteză, care se găsesc în același corp) sau prin introducerea unor filtre (fig. 4.13, *b*, *c*), se pot obține diverse diagrame de directivitate (cerc, opt, cardioidă). Acest tip de combinare se numește electrică.

4.4.7. MICROFOANE CU REFLECTOR (fig. 4.14)

În unele cazuri, cînd este dificil să se monteze un microfon la o distanță convenabilă, sau cînd este nevoie să se accentueze o anumită zonă a unei formații muzicale, se pot folosi reflectoare parabolice construite din material rigid, în focarul cărora se montează microfonul respectiv. Caracteristica de directivitate a microfoanelor cu reflector depinde de raportul dintre diametrul parabolei și lungimea de undă.

4.4.8. MICROFOANE STEREOFONICE

Microfonul stereofonic este în realitate un cuplu de două microfoane de același tip (dinamic sau condensator) care sînt asamblate în diferite moduri în funcție de procedeul stereofonic la care se folosește și care constituie un sistem de microfoane.

A. Capul artificial

Plecînd de la analiza modului în care omul percepe sunetul stereofonic, s-a imaginat primul sistem de microfoane stereofonice denumit „cap artificial" sau cap fonic, care este o reproducere din carton presat, material plastic sau bachelită, a capului unui ascultător. Dimensiunile și forma capului artifical sînt aceleași cu cele ale capului uman iar în locul organelor auditive sînt prevăzute două microfoane (fig. 4.15).

S-a acordat o atenție deosebită imitării foarte exacte a pavilionului urechii și a intrării în canalul auditiv. Ca rezultat al aranjamentului microfoanelor, în canalul urechii se obține o caracteristică de directivitate în funcție de frecvență similară cu cea a membranei timpanului urechii omului. O rezistență acustică servind ca terminație absorbantă este interpusă între sfîrșitul canalului urechii artificiale și capsulele microfoanelor.

Capul artificial dă o informație sonoră care o aproximează pe cea care ar fi obținută dacă ascultătorul ar fi situat în locul capului artifical. De aceea ascultătorul are impresia că este prezent la ascultarea locală a scenei sonore.

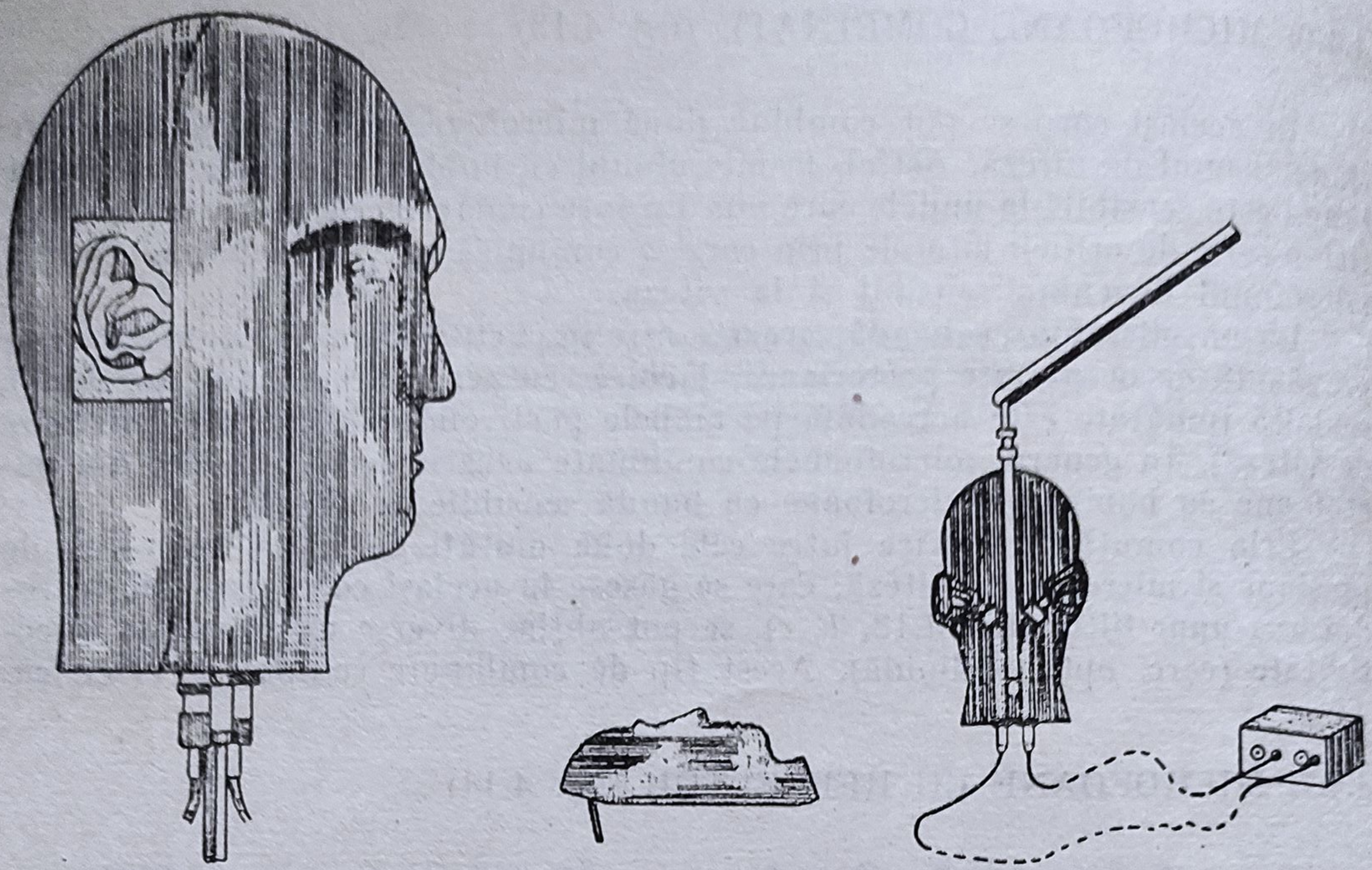


Fig. 4.15. *a*) Cap artificial (ansamblu); *b*) Cap artificial (detaliu).

Avînd în vedere că o serie de detalii ale capului uman, cum sînt conformația, tenul, părul etc., nu pot fi reproduse de capul artifical care evident perturbă cîmpul sonor original, sînt necesare mici corecții ale caracteristicii de frecvență, care depind de tipul de cap artifical folosit. Diferite firme au experimentat și fabricat mai multe tipuri de capete artificiale, precizînd în prospecte caracteristicile acestora și posibilitățile de folosire.

Reproducerea semnalelor captate cu ajutorul capului artifical este foarte aproape de cea reală atunci cînd ascultarea se face în *căști*. Reproducerea realizată prin *difuzoare* este satisfăcătoare dacă se iau o serie de măsuri speciale și dacă ascultătorul este situat într-o anumită poziție în camera de ascultare, respectiv în interiorul „suprafeței de ascultare".

Testele pentru stabilirea proprietăților capului artificial, realizate prin mijloace obiective și determinări subiective, cu ajutorul ascultărilor comparative, au dat următoarele rezultate :

— impresia direcțională în planul orizontal este aproximativ aceeași cu cea a unei ascultări directe ;

— aprecierea diferitelor direcții în planul median în cazul ascultării semnalelor captate cu capul artificial are aceeași precizie cu cea realizată la ascultarea directă ;

— aprecierea distanțelor între diferite surse sonore este aproape aceeași cu cea realizată la ascultarea directă ;

— impresia auditiei într-o cameră de ascultare obținută prin captarea cu capul artificial corespunde cu cea a impresiei originale.

Sistemul de microfoane stereo de tip cap artificial se aplică cu rezultate bune în cele mai multe situații la înregistrările muzicale și de teatru, mai ales în cazurile în care se impune ameliorarea condițiilor acustice ale sălilor respective și evitarea anumitor zgomote neplăcute.

De asemeni, acest sistem se foloseşte cu rezultate foarte bune într-o serie de măsurători şi determinări acustice cum sînt : investigarea deficientelor de auz, măsurarea inteligibilităţii vorbirii în diferite poziţii de ascul-

În captările stereofonice *de intensitate*, cînd condiţia principală care trebuie îndeplinită este ca cele două microfoane care compun sistemul stereofonic să fie amplasate în acelaşi punct, s-au adoptat două soluţii de bază corespunzătoare celor două tipuri de microfoane care se folosesc cel mai mult, microfoane *dinamice* şi microfoane *condensator*.

B. Microfoane dinamice stereofonice

Deoarece microfoanele dinamice au ajuns la dimensiuni destul de reduse, care nu mai perturbă simţitor cîmpul sonor original, iar din construcţie aceste microfoane nu pot fi făcute cu caracteristici de directivitate reglabile, pentru sistemul de microfoane stereofonice de intensitate s-a adoptat, în majoritatea cazurilor, soluţia ca cele două microfoane ale cuplului stereofonic să fie montate pe stativ prin intermediul unui dispozitiv special care permite reglarea şi orientarea lor conform cerinţelor amplasamentului (fig.4.16). Cele două microfoane se aleg cu caracteristici corespunzătoare procedeului folosit şi se montează în poziţie orizontală sau verticală unul faţă de celălalt, orientîndu-se individual fiecare.

Informaţia de poziţie furnizată de perechea de microfoane dinamice stereo de coincidenţă nu depinde numai de alegerea caracteristicilor de directivitate şi de frecvenţă ale celor două microfoane, ci depinde destul de mult şi de *tip*, precum şi de *seria de fabricaţie*. Diferenţele minore provenite

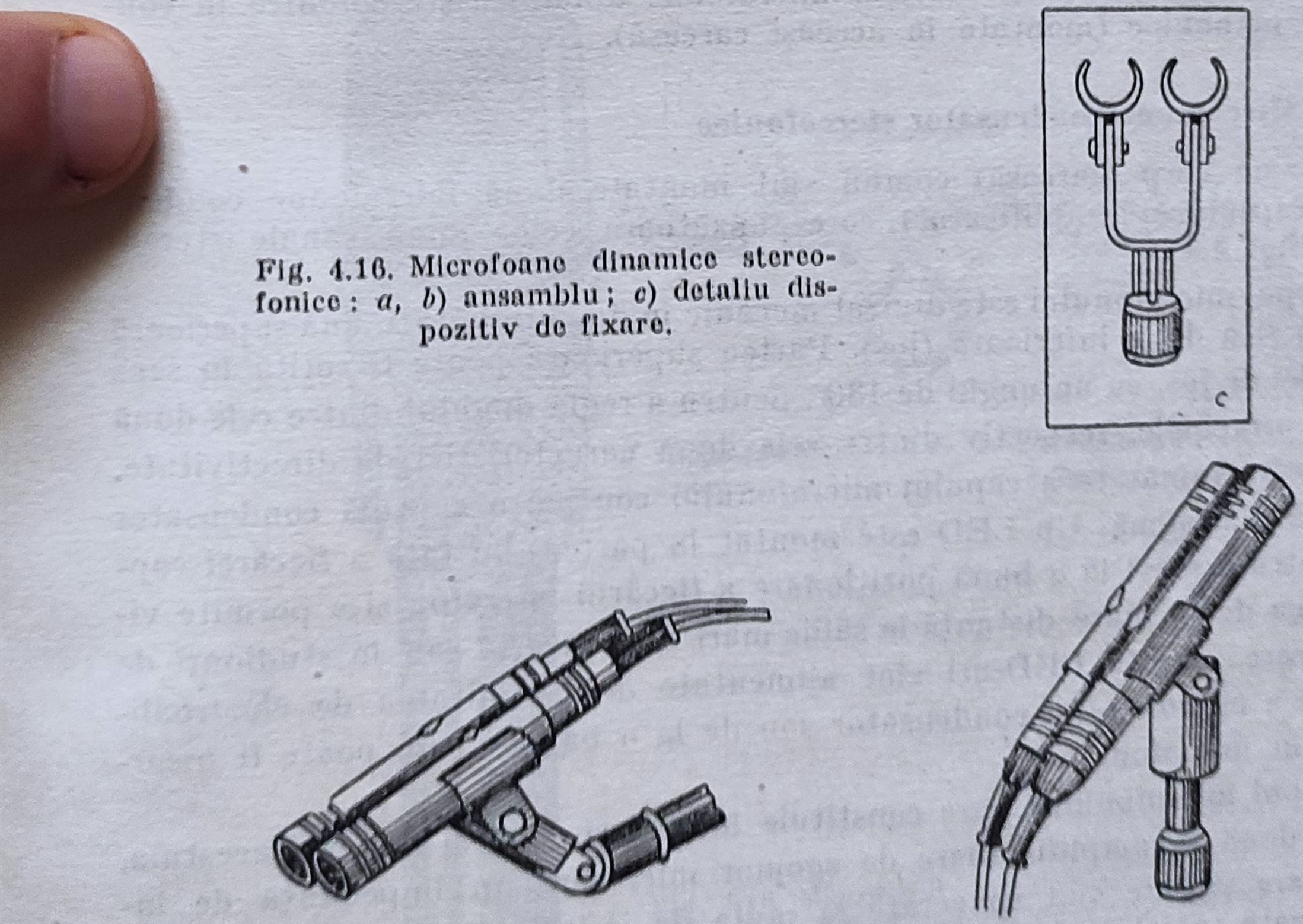
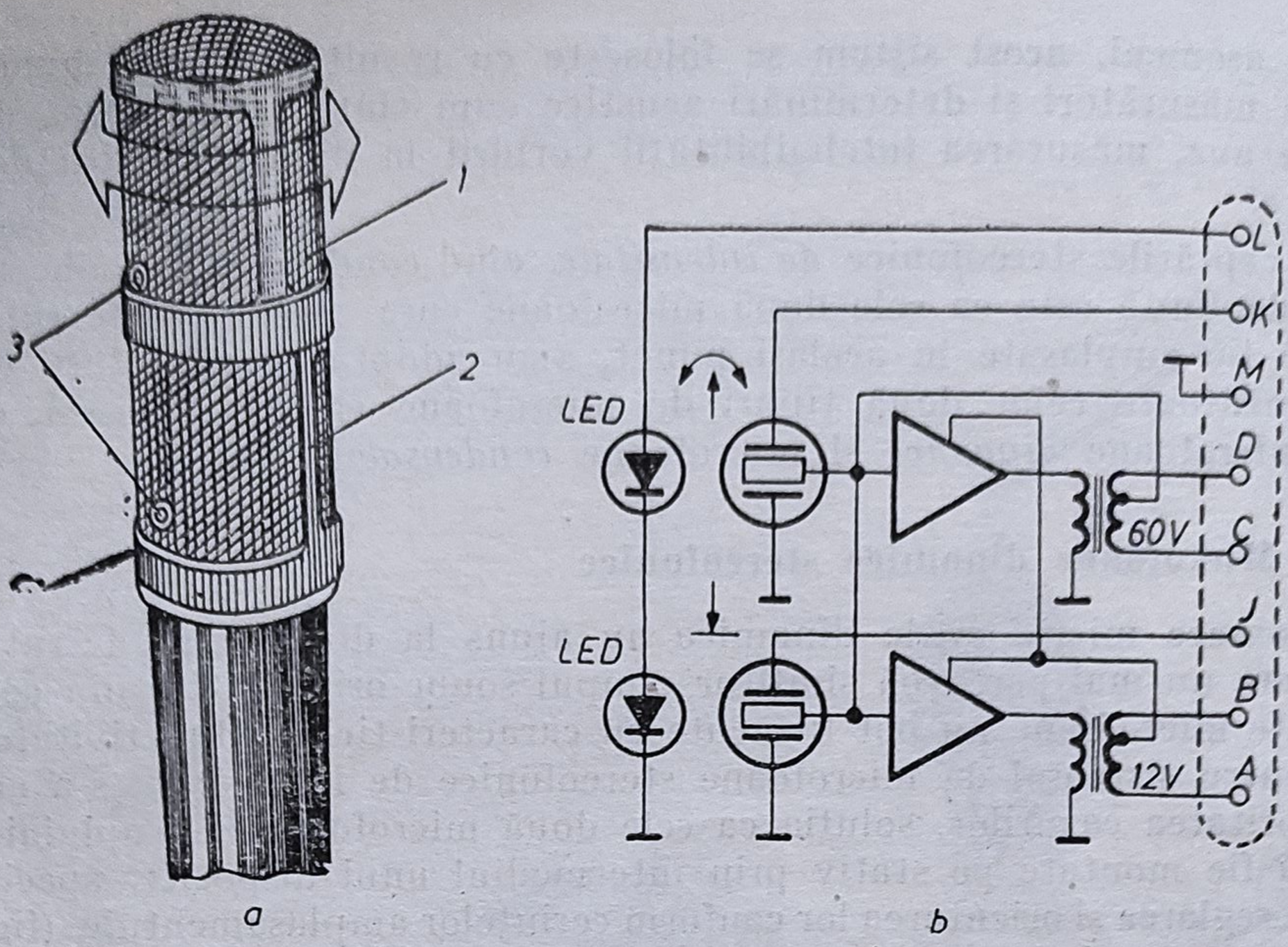


Fig. 4.16. Microfoane dinamice stereofonice : *a*, *b*) ansamblu ; *c*) detaliu dispozitiv de fixare.



a b

Fig. 4.17. Microfon condensator stereofonic :
a) ansamblu : *1* — microfonul 1 (superior), *2* — microfonul 2 (inferior), *3* — semnalizări de direcţie ; *b*) schema electrică.

din proiectare pot duce la diferenţe considerabile în structura fină a răspunsului la frecvenţe înalte, care se amplifică în cazul unei perechi de microfoane alese nepotrivit (din serii diferite).

Din cauza unor dificultăţi constructive şi a greutăţilor care apar în exploatare, firmele nu au fabricat microfoane dinamice stereofonice în construcţie monobloc (montate în aceeaşi carcasă).

C. Microfoane condensator stereofonice

Într-un corp (carcasă) comun sînt montate două microfoane condensator (capsulă şi amplificator) corespunzătoare celor două canale stereofonice (fig. 4.17).

Corpul microfonului este divizat mecanic în două jumătăţi, una superioară (la vîrf) şi a doua inferioară (jos). Partea superioară poate fi rotită în sens opus celei de jos, cu un unghi de 180°, pentru a regla unghiul dintre cele două direcţii principale, respectiv dintre cele două caracteristici de directivitate.

Fiecare jumătate a capului microfonului conţine o capsulă condensator cu dublă diafragmă. Un LED este montat în partea din faţă a fiecărei capsule pentru a servi la o bună poziţionare a fiecărui microfon şi a permite vizibilitatea de la mare distanţă în sălile mari de concerte sau în studiouri de înregistrare. Aceste LED-uri sînt alimentate de la unitatea de electroalimentare a microfonului condensator sau de la o baterie care poate fi încorporată în microfon.

Corpul microfonului, care constituie în acelaşi timp şi mînerul acestuia, conţine două preamplificatoare de zgomot mic, care au impedanţă de intrare mare şi care sînt conectate la mufa de ieşire prin intermediul unor atenuatoare reglabile (—10 dB ; —20 dB).

Există microfoane care au capsulele cu caracteristici de directivitate fixe, stabilite din construcție, și microfoane la care caracteristicile de directivitate se pot comuta în funcție de procedeul de captare ales (exemplu: microfonul condensator stereofonic AKG C.422).

* * *

Perechile coincidente pot fi microfoane separate (ca cele de tip dinamic) sau ansamblu dublu element (ca cele de tip condensator). La microfoanele duble elementele sînt în general plasate una deasupra celeilalte, cu capsula superioară montată în așa fel încît să poată fi rotită cu un unghi de 180° pe un ax comun cu cea inferioară. De cele mai multe ori caracteristica de directivitate a fiecărui element poate fi modificată avînd următoarele profile: opt, cardioidă, hipercardioidă și omnidirecțională.

Dacă microfoanele stereo coincidente nu au același nivel de ieșire, informația pozițională redată va fi deformată. De aceea este foarte important ca, înainte de a fi folosite, perechile de microfoane stereo coincidente să fie aliniate.

4.4.9. MICROFONUL CUADROFONIC (fig. 4.18)

Are în compunere patru capsule condensator cu caracteristică de tip cardioid, care sînt dispuse în două perechi, una deasupra celeilalte. Fiecare capsulă are amplificatorul său propriu. Perechea superioară de capsule se

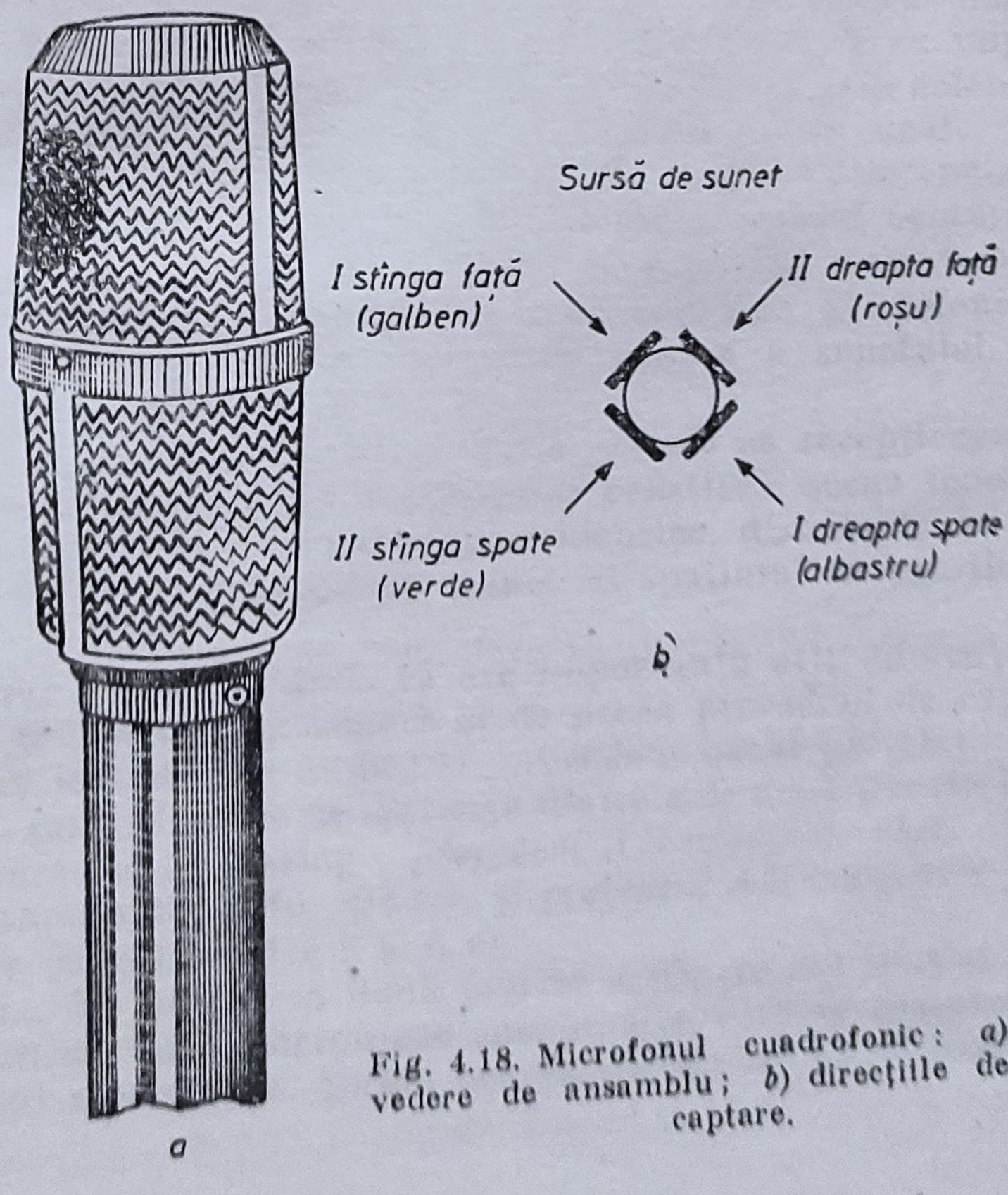


Fig. 4.18. Microfonul cuadrofonic: *a*) vedere de ansamblu; *b*) direcțiile de captare.

roteşte în sens invers perechii inferioare. Rezultatul este o diagramă de directivitate cu patru cardioide orientate în cele patru direcţii principale de captare a sunetului (frunză de trifoi). Capsulele astfel amplasate alimentează patru canale electroacustice cu informaţii a căror distribuţie spaţială este menită să producă la ascultător efectul cuadrofonic.

Codul culorilor celor patru canale:

Patru puncte colorate sînt aplicate pe grilă în faţa fiecărei capsule pentru a putea fi identificate cele patru direcţii principale de captare a sunetului. Direcţiile sînt aceleaşi cu cele stabilite de o persoană care se află amplasată în locul microfonului (fig. 4.18,*b*).

Sistemul I este format din perechea de capsule inferioare. Membranele acestora sînt destinate direcţiilor stînga-faţă (culoarea *galbenă*) şi dreapta-spate (culoarea *albastră*).

Sistemul II este format din perechea de capsule superioare care se pot roti cu un unghi de 180°. Membranele acestora sînt destinate direcţiilor dreapta-faţă (culoarea *roşie*) şi stînga-spate (culoarea *verde*).

Un exemplu de microfon cuadrofonic este tipul QM-69 fabricat de firma Neumann.

Capitolul 5

Captarea stereofonică a sunetului

5.1. PROCEDEELE DE CAPTARE STEREOFONICĂ PE DOUĂ CANALE

Pentru a reda ascultătorului o imagine cît mai fidelă a cîmpului sonor real, prima verigă a procesului tehnologic din tehnica stereofonică -- *captarea* — trebuie să asigure transpunerea tuturor informațiilor oferite de sursele de sunet care compun scena sonoră în două semnale electrice stereofonice, corespunzătoare celor două canale electroacustice.

Captarea stereofonică a sunetului este o operație foarte importantă dar și dificilă, care pe lîngă cunoștințele de bază din domeniul stereofoniei presupune multă experiență și măiestrie profesională. Avînd în vedere că în procesul de captare se întîlnesc deseori două domenii de activitate distincte, muzica și tehnica sunetului, care se întrepătrund foarte mult în vederea transpunerii fenomenului artistic de natură subiectivă cu mijloace tehnice cu posibilități limitate, această operație se realizează prin colaborarea strînsă a doi factori de bază : regizorul muzical și inginerul de sunet.

La captarea stereofonică a sunetului se au în vedere cunoștințele și experiența acumulată în decursul timpului în domeniul captării monofonice de înaltă calitate și progresele realizate în domeniul stereofoniei.

La baza procedeelor folosite pentru captarea stereofonică stau diferența de timp și diferența de intensitate sonoră a sunetului. Există două situații diferite și anume.

I. Sunetul produs de aceeași sursă sonoră se recepționează (captează) în două puncte distincte ale spațiului ce constituie scena sonoră.

II. Sunetul produs de două surse identice, distribuite în spațiu, se recepționează (captează) în același punct al spațiului ce constituie scena sonoră.

În primul caz s-a stabilit că are importanță atît diferența de timp cît și diferența de intensitate sonoră și de aceea procedeul de captare care are la bază acest fenomen se numește „procedeul bazat pe relații de timp și de intensitate", iar în funcție de distanța dintre cele două puncte în care se face captarea sunetului se disting : *procedeul AB apropiat*, cînd distanța dintre cele două puncte este de 10—25 cm, și *procedeul AB îndepărtat (distanțat* cînd distanța este cuprinsă între 3 și 6 m.

Captarea, făcîndu-se în două puncte distincte din spațiul scenei sonore, impune folosirea unor microfoane monofonice care se conectează fiecare la cîte un canal stereofonic, ținînd seama de modul de amplasare (stînga și dreapta).

În situaţia II s-a arătat că are cea mai mare importanţă diferenţa de intensitate sonoră şi ca urmare procedeul de captare a intrat în practică sub denumirea de „procedeul bazat pe relaţii de intensitate". Pentru a realiza captarea mai multor sunete sonore, în acelaşi punct al scenei sonore, se folosesc *microfoanele stereofonice* (microfoane *de coincidenţă*). În funcţie de caracteristicile celor două capsule care intră în componenţa microfonului stereofonic s-au stabilit două variante şi anume: procedeul XY, simetric, cînd caracteristicile de directivitate ale celor două capsule sînt identice şi procedeul MS, asimetric, cînd capsulele celor două microfoane au caracteristicile de directivitate diferite.

Pornind de la cele două procedee de bază cu cîte două variante fiecare, s-au dezvoltat mai multe variante de captare care în anumite situaţii satisfac mai bine exigenţele diferitelor genuri de muzică.

Deoarece captarea stereofonică a sunetului constituie o operaţie de strictă specialitate se vor analiza pe scurt principalele variante ale procedeelor de bază.

5.1.1. PROCEDEUL BAZAT PE RELAŢII DE TIMP ŞI INTENSITATE (AB)

Acest procedeu de captare stereofonică are la bază atît decalajul de timp cît şi diferenţa de intensitate sonoră care apare între cele două semnale captate de la aceeaşi sursă. Pentru a realiza o captare stereofonică după acest procedeu, se vor întrebuinţa două microfoane monofonice care au caracteristică de directivitate de regulă cardioidă şi mai rar omnidirecţională sau bidirecţională.

Microfoanele, care trebuie să fie identice, se amplasează în spaţiul ce constituie scena sonoră şi se conectează la cele două canale stereofonice, care trebuie să fie tot identice.

Aşa cum s-a arătat în cap. 3, dacă se notează cu α unghiul făcut de dreapta care uneşte centrul capului cu sursa sonoră aparentă şi axa de simetrie a difuzoarelor şi cu α_{max} unghiul făcut de această axă cu direcţia de amplasare a difuzoarelor (fig. 5.1, *b*) se stabileşte o dependenţă (fig. 5.1, *c*) a poziţiei sursei sonore aparente (δ) faţă de distanţa dintre cele două microfoane ($2R$) precum şi faţă de unghiul θ pe care-l face direcţia la care se află sursa sonoră cu axa de simetrie a dispozitivului de captare (fig. 5.1, *a*)

În această situaţie s-au determinat atît valorile diferenţelor de intensitate sonoră ΔI şi valorile diferenţei de timp Δt pentru care imaginea sonore a sursei îşi păstrează poziţia în mijlocul bazei (curba *M*) cît şi condiţiile limită pentru care poziţia sursei sonore aparente coincide cu locul în care este amplasat unul din cele două difuzoare (curbele *S* şi *D*, fig. 5.2).

Ţinînd cont de diagrama din fig. 5.2 şi considerînd situaţia în care se utilizează procedeul capului artifical, se poate trasa o dreaptă caracteristică *AB*, care arată dependenţa între variaţiile de intensitate ΔI şi cele de timp Δt, corespunzătoare acestui caz.

Mărind distanţa dintre microfoane, diferenţele de timp vor fi preponderente, caracteristica respectivă putînd fi reprezentată prin dreapta *CD*. Aşa cum rezultă din caracteristicile din fig. 5.1, *c* şi 5.2, la reproducerea ste-

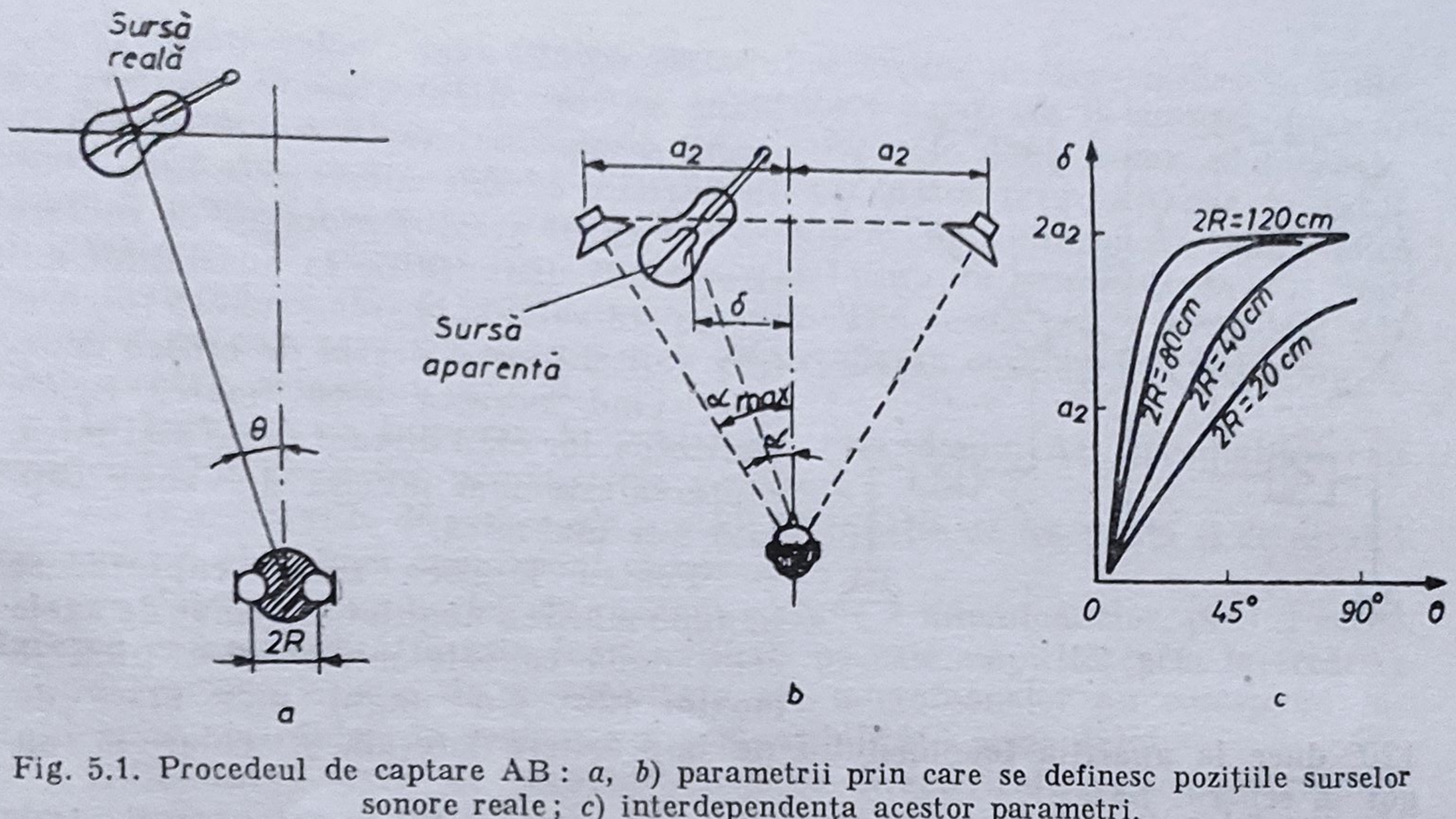


Fig. 5.1. Procedeul de captare AB: *a*, *b*) parametrii prin care se definesc poziţiile surselor sonore reale; *c*) interdependenţa acestor parametri.

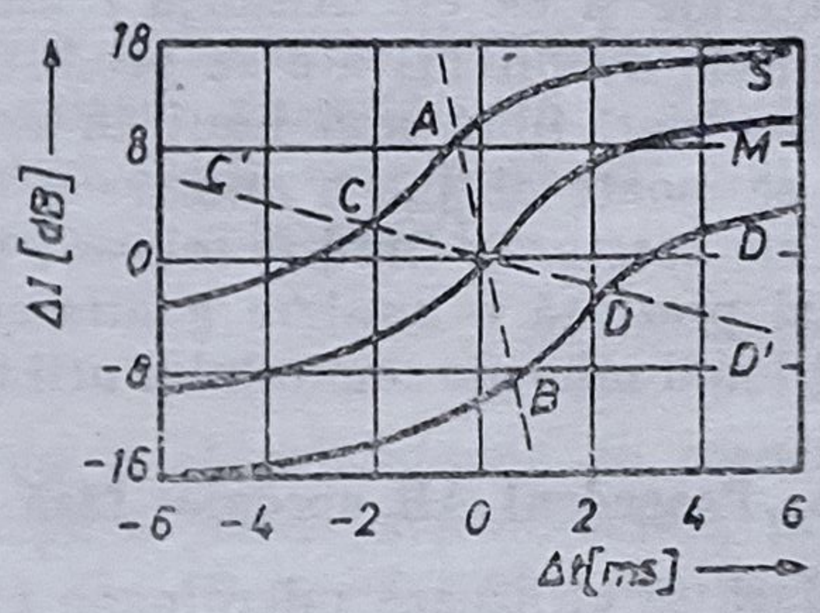


Fig. 5.2. Dependenţa dintre valorile diferenţelor de intensitate acustică şi de timp.

reofonică pot apărea cîte o dată unele fenomene neplăcute ca, de exemplu, fenomenul „golului de mijloc“ (ascultătorul are impresia că sunetul sosește de la difuzorul din stînga sau de la cel din dreapta și niciodată din spațiul cuprins între ele). În general, această anomalie se datorește unor defecțiuni de captare a sunetului. Pentru explicarea acestui fenomen este necesar să ne referim la caracteristicile din fig. 5.2. Presupunînd că între cele două microfoane amplasate, de exemplu, în faţa unei orchestre, există o distanţă mare, diferenţele maxime de timp nu vor mai corespunde punctelor *C* şi *D*, ci altor puncte *C'* şi *D'*. Bineînţeles că atunci cînd sursa sonoră se deplasează diferenţele de nivel de intensitate şi de timp îşi modifică valorile continuu. Dacă amplasamentul iniţial al sursei reale corespunde punctului *C'* la reproducere sursa reală nu va avea o poziţie corespunzătoare punctului *C*. În acest interval de timp, deşi sursa s-a deplasat, sursa aparentă este percepută continuu în difuzorul din stînga. Dacă presupunem că deplasarea sursei se face cu o viteză mai mare, punctul *D* va fi repede atins şi sunetul pare că soseşte numai de la difuzorul din dreapta. Deci, în aceste situaţii, sursa sonoră va fi localizată în direcţia difuzoarelor utilizate pentru reproducerea sunetului şi numai foarte rar în spaţiul cuprins între ele.

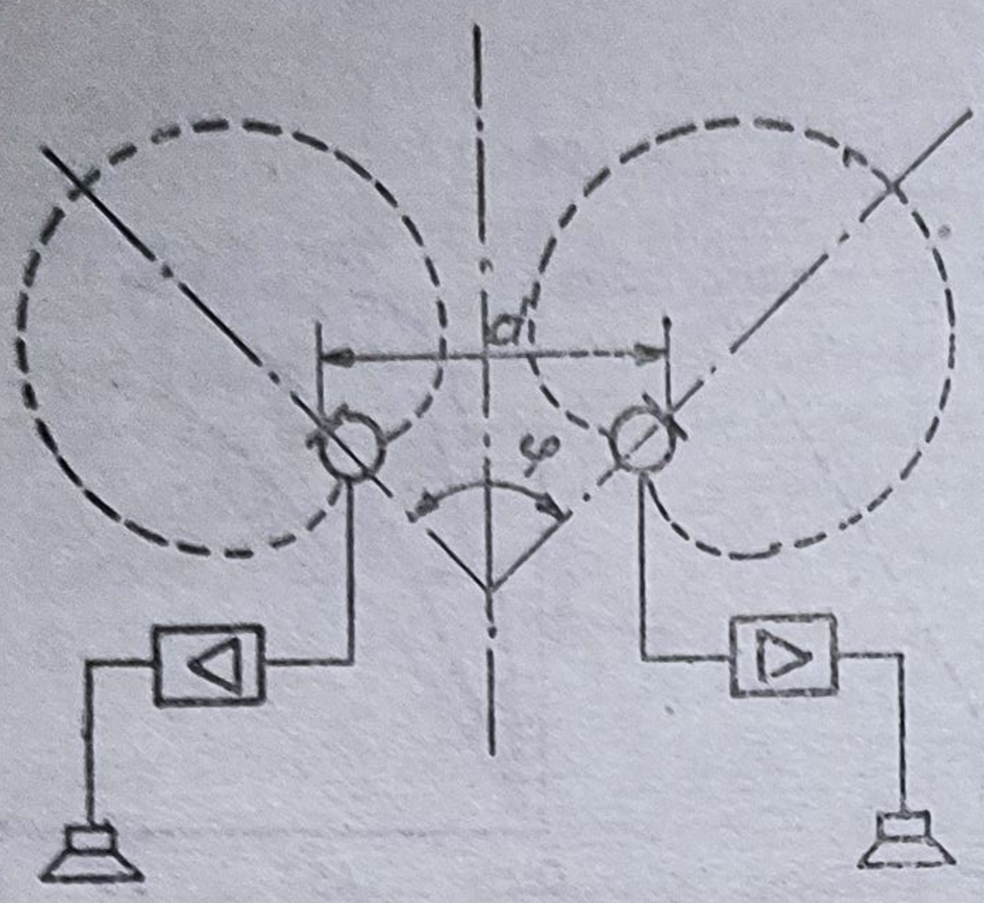


Fig. 5.3.

De regulă axele celor două microfoane se vor orienta pentru a face un unghi φ cuprins între 0 și 120° (fig. 5.3). În practică se obișnuiește să se ia $\varphi = 90°$.

În cazul acestui procedeu de captare stereofonică distanța de la ansamblul microfon stereofonic la scena sonoră (orchestră) captată este destul de critică deoarece, cînd aceasta este mare, scade claritatea, iar cînd distauța este mai mică, captarea este mai precisă dar zona captată este mai mică.

Pentru lărgirea zonei captate se impune mărirea unghiului format de axele celor două capsule microfonice pînă la maxim 120°. Un unghi mai mare de 120° duce la apariția fenomenului de împrăștiere laterală și chiar la un gol în centrul bazei.

Decalajele temporale sînt cu atît mai mari cu cît sursele captate sînt mai laterale și cu cît distanța l între microfoanele cuplului este mai mare. Diferențele de intensitate se produc din cauza caracteristicilor directive ale microfoanelor, fiind mai mari în cazul folosirii microfoanelor bidirecționale (cînd se poate obține o anulare a diferenței de intensitate pentru direcțiile la 90° ale acestora). Cînd se folosesc microfoane omnidirecționale, care evident nu mai prezintă o anulare a diferenței de intensitate la 90°, se vor obține variații mai mici ale semnalului util față de cazul microfoanelor bidirecționale.

A. Procedeul AB apropiat fără corp difractant sau cap artificial

Dacă se utilizează microfoane cu caracteristici de directivitate potrivite, se pot crea diferențe de intensitate și dezechilibre de spectre sonore (între semnalele primite de cele două urechi de la surse laterale) care corespund cu cele care există în audiția directă a acestor surse.

În acest procedeu, relațiile de timp între semnalele date de sursele din extremitățile laterale ale scenei sînt captate cu intensități comparabile și de aceea semnalul A + B nu este compatibil, apărînd în special în domeniul frecvențelor înalte distorsiuni și deformări supărătoare pentru ureche.

Ca urmare, în sistemul de captare AB fără cap artificial sau fără panou difractant, trebuie considerat ca semnal compatibil unul din cele două semnale, A sau B. În acest caz, la captarea scenei sonore trebuie avut grijă să nu se piardă anumite informații, în acest semnal comparabil (ceea ce reduce însă din efectul stereofonic), prin atenuarea voită a diferențelor de intensitate.

Așadar, în procedeul AB apropiat fără cap artificial sau panou difractant se neglijează intenționat relațiile de intensitate în detrimentul efectului sterefonic care se bazează practic mai mult pe relațiile de timp.

În concluzie, procedeul AB apropiat fără cap artificial se poate întrebuința cu rezultate bune numai în stereofonie, însă nu poate fi folosit pentru captările stereo-compatibile.

B. Procedeul AB apropiat cu panouri difractante sau cu cap artificial

Acest procedeu permite captarea unui semnal stereo care asigură obținerea efectului stereo, a reliefului sonor, a impresiei cît mai corecte a realității,

reproducînd cît mai fidel pentru întregul domeniu al frecvenţelor audibile atît relaţiile de timp cît şi cele de intensitate existente la audiţia directă. În acest procedeu, relaţiile de timp între cele două canale sînt redate corect, însă din cauza atenuării frecvenţelor înalte prin *difracţie* în jurul capului, pentru asemenea frecvenţe diferenţele de intensitate sînt mici şi interferenţele produse de diferenţele de timp în semnalul A + B sînt mult mai reduse, fiind practic nesesizabile. Din acest motiv procedeul AB apropiat cu cap artificial (sau panou difractant) se consideră practic compatibil pentru semnalul A + B.

În legătură cu folosirea în practică a procedeului AB apropiat cu cap artificial sînt necesare următoarele precizări :

— proprietăţile directive ale urechii în funcţie de frecvenţă şi de nivelul de audiţie sînt încă insuficient cunoscute ;

— determinarea curbei de răspuns optime a microfoanelor, pentru satisfacerea compatibilităţii, este foarte dificilă pe cale empirică (prin încercări) ;

— caracteristicile de directivitate ale microfoanelor nu corespund întotdeauna cerinţelor de realizare a compatibilităţii semnalului.

Dificultatea dată de caracteristicile de directivitate necorespunzătoare ale microfoanelor se înlătură fie prin introducerea capului artificial între cele două microfoane care trebuie să se orienteze în mod convenabil, fie dispunînd ecrane în jurul microfoanelor pentru a le corecta diagrama de directivitate. Încercările efectuate au dus la rezultate promiţătoare şi dau posibilitatea găsirii unui compromis între o stereofonie care redă cel mai fidel realitatea şi asigurarea unui semnal monofonic compatibil.

C. **Procedeul AB îndepărtat**

Acest procedeu realizează captarea cu două microfoane cu caracteristică de tip cardioidă, orientate divergent pe o bază perpendiculară pe axa de captare stereofonică şi distanţate la cca. $3 \div 6$ m între ele, pentru a crea o diferenţă de intensitate importantă, pentru sursele laterale, între semnalele A şi B. Efectul este o concentrare a imaginilor sonore spre extremităţi, o scădere a densităţii lor spre centru, putînd prezenta chiar pericolul apariţiei unui gol central.

Localizarea surselor este mai puţin afectată de poziţia ascultătorului faţă de axa de simetrie a dispozitivului de ascultare. Pentru înlăturarea efectului de gol în centrul imaginii se întrebuinţează unul sau mai multe microfoane monofonice repartizate (centrate prin panoramare) prin procedee de intensitate sau un microfon central de coincidenţă (cuplu de microfoane) XY care foloseşte efectul de intensitate.

Procedeul AB îndepărtat nu se întrebuinţează fără corecţie centrală deoarece imaginea este deformată.

Microfoanele laterale (A şi B) este bine să aibă caracteristică de directivitate variabilă.

5.1.2. PROCEDEE BAZATE PE RELAŢII DE INTENSITATE

Pentru a îndeplini condiţia fundamentală impusă sistemelor stereofonice ca semnalul sumă să fie compatibil, s-au căutat procedee de captare stereofonică în care se neglijează în mod intenţionat relaţiile de timp, prin montarea celor două microfoane pe aceeaşi axă verticală şi foarte aproape unul de celălalt (microfoane *de coincidenţă*).

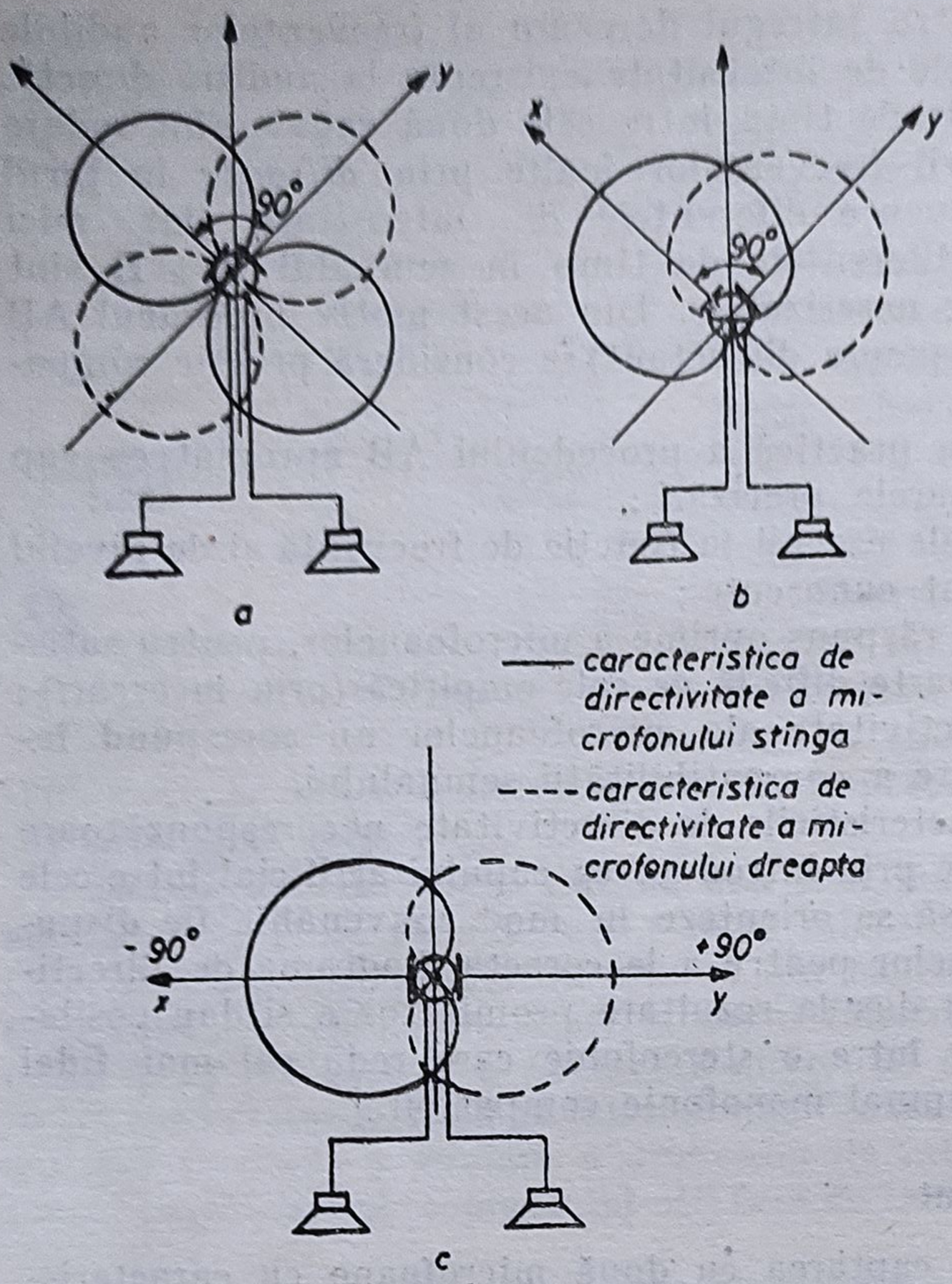


Fig. 5.4. Caracteristicile de directivitate ale microfoanelor de coincidență utilizate în procedeul de înregistrare stereofonică XY; *a*) caracteristici în formă de opt, decalate cu $\frac{\pi}{2}$; *b*, *c*) caracteristici în formă de cordioide decalate cu $\frac{\pi}{2}$, respectiv π.

După caracteristicile de directivitate ale microfoanelor și orientarea lor se disting în mod curent procedeele XY simetric si MS asimetric.

În fig. 5.4 sînt prezentate cele trei combinații posibile ale caracteristicilor microfoanelor (cînd acestea sînt identice), utilizate în sistemul XY simetric.

Exprimarea matematică a fiecărui caz în parte este posibilă dacă se folosește observația că există o proporționalitate între tensiunea obținută la bornele unui microfon (E) și funcția de directivitate rotită cu un anumit unghi (θ) față de axele sistemului de captare. Aceste relații au forma generală :

$$E_1 = eR\left(\frac{\pi}{4} + \theta\right) \quad \text{și} \quad E_2 = eR\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right)$$

unde R este o funcție trigonometrică sau exponențială care diferă de la un procedeu la altul.

Dacă se consideră două caracteristici în formă de opt, decalate cu $\frac{\pi}{2}$ (fig. 5.4, *a*), relațiile de mai sus devin :

$$E_1 = e\cos\left(\frac{\pi}{4} + \theta\right); \quad E_2 = e\cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) \tag{5.1}$$

Cînd funcțiile de directivitate sînt cele corespunzătoare diagramelor din fig. 5.4, *b* (cardioide decalate cu $\frac{\pi}{2}$) se obțin relațiile

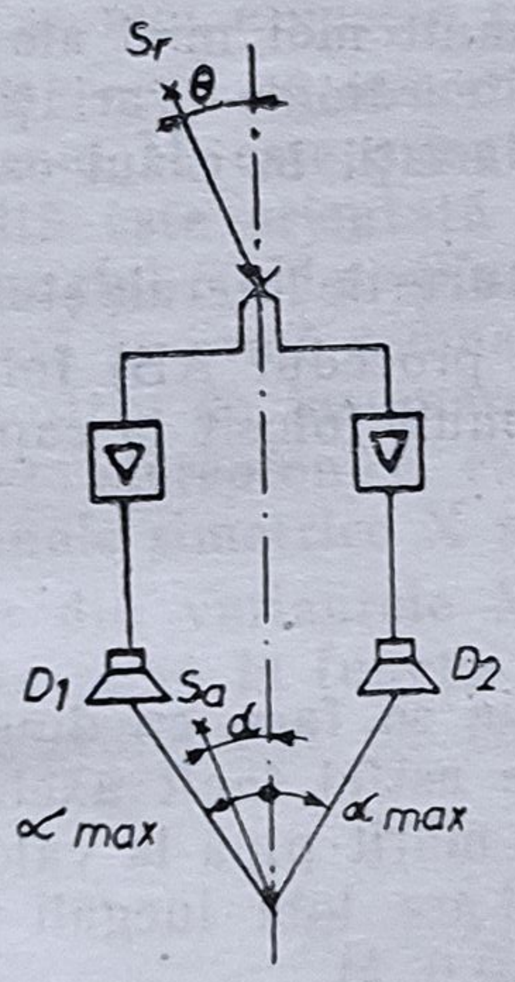
$$E_1 = e\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{4} + \theta\right)\right]; \quad E_2 = e\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right)\right] \tag{5.2}$$

Cea de-a treia situaţie (cardioide decalate cu π), prezentată în fig. 5.4, *c* poate fi exprimată matematic prin relaţiile :

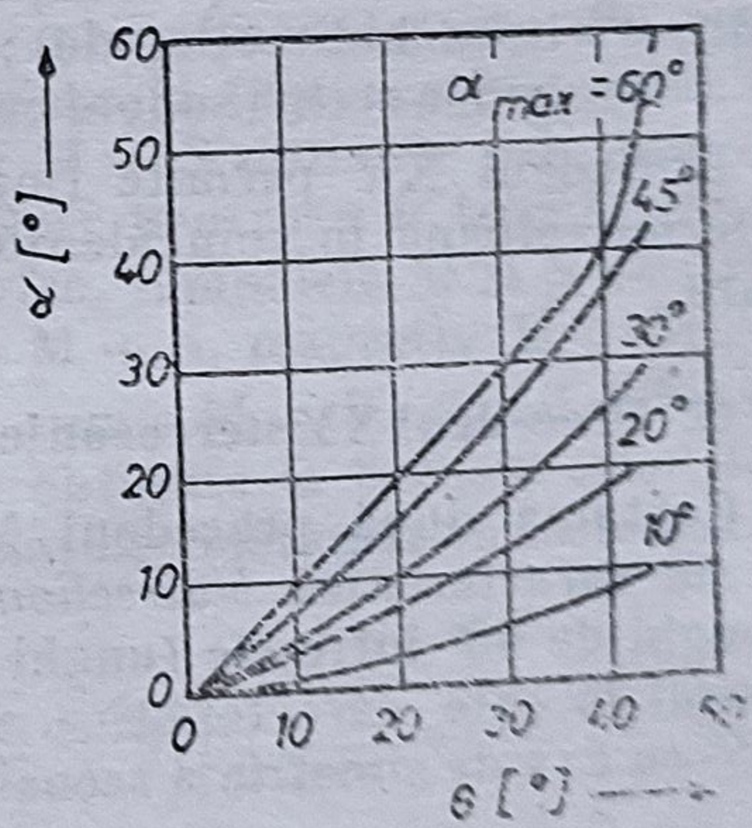
$$E_1 = e\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]; \quad E_2 = e\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)\right] \qquad (5.3)$$

Pentru stabilirea relaţiilor dintre elementele sistemului de captare şi ale celui de redare se consideră situaţia prezentată în fig. 5.5,*a* în care se utilizează un microfon de coincidenţă corespunzător. Dacă se notează cu θ unghiul care corespunde poziţiei sursei reale şi cu α unghiul corespunzător sursei sonore aparente, se pot trage concluzii interesante privind modul în care variază α în funcţie de θ pentru diferite valori ale semiunghiului delimitat de direcţia în care ascultătorul vede fiecare din cele două casete cu difuzoare şi de axa de simetrie a sistemului (α_{max}).

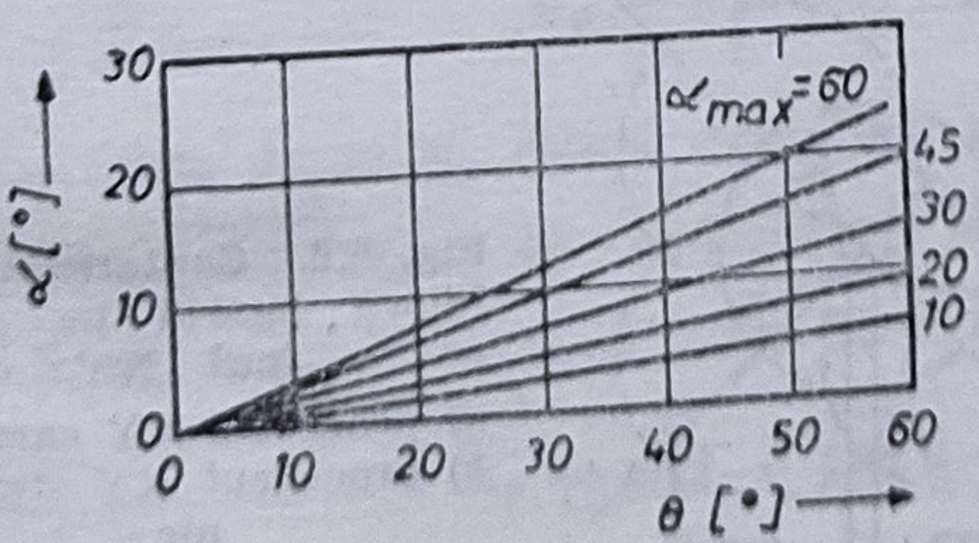
Astfel, în fig. 5.5, *b* s-a considerat cazul unui microfon de coincidenţă cu caracteristici de directivitate în formă de opt, decalate cu 90° ca cele din fig 5.4, *a*, şi s-a reprezentat grafic funcţia $\alpha = f(\theta)$. Se observă că pînă la valori ale lui θ apropiate de 45°, α variază proporţional cu θ. Prin această proporţionalitate se arată că poziţiile sursei de sunet reale corespund cu cele ale sursei de sunet aparente. În fig. 5.5, *c* sînt prezentate aceleaşi caracteristici, pentru situaţia în care se utilizează microfoane de coincidenţă, ale căror



a



b



c

Fig. 5.5. Captarea stereofonică utilizînd procedeul XY : *a*) amplasarea sursei sonore şi a ascultătorului ; *b*, *c*) variaţia unghiului α în funcţie de θ în cazul folosirii unor microfoane în coincidenţă cu caracteristici de directivitate în formă de opt, respectiv de dublă cardioidă, decalate cu 90° (α_{max} = parametru).

caracteristici de directivitate — dublă cardioidă — sînt decalate, de asemenea, cu 90° (ca cele din fig. 5.4, *b*). În acest caz, există de asemenea o proporționalitate între valorile lui θ și cele ale lui α, cu deosebirea că pentru unghiuri θ mari, corespund valori mici ale lui α.

A. Procedeul XY cardioid

Pentru a realiza o captare stereofonică după acest procedeu, cele două microfoane, care au caracteristică *cardioidă*, vor fi orientate în așa fel încît axele lor să facă un unghi de 90° între ele și un unghi de 45° cu axa de simetrie a scenei sonore captate (fig. 5.6, *a*).

Acest procedeu dă rezultate mai bune în cazul sălilor cu reverberație mai mare, deoarece sînt eliminate sunetele reflectate din sală care ajung la microfon în partea inactivă. Deoarece formația care trebuie să fie captată trebuie să se găsească între axele microfoanelor în anumite cazuri se poate mări unghiul de orientare al microfoanelor peste valoarea indicată.

Acest procedeu este compatibil pentru semnalul X + Y și prezintă următoarele inconveniente :

— sursele laterale au aceeași diferență de nivel pe întregul spectru al frecvențelor, ceea ce nu corespunde condițiilor normale ale auzului binaural (introduce erori în localizarea surselor) ;

— diferențele de intensitate între semnalele X și Y la deplasările unghiulare ale sursei se traduc prin deplasări mult mai mici ale imaginii sursei, din cauza caracteristicii de directivitate cardioide (variații mici de intensitate a sunetului captat față de aceleași variații în cazul caracteristicilor de directivitate bidirecționale) ;

— imaginea scenei sonore captate are contururile laterale șterse.

Procedeul XY permite (mai ușor decît procedul AB) folosirea a mai multe microfoane în coincidență și este mai mult folosit la captarea muzicii ușoare.

B. Procedeul XY stereosonic

Captarea după procedeul XY stereosonic se face cu două microfoane care au caracteristică *bidirecțională*, orientate astfel încît axele lor să facă un unghi de 90° între ele (unghi care poate fi mărit pînă la valoarea de 135° în cazul în care caracteristica microfoanelor are lobi inegali și un unghi de 45° cu axa de simetrie a scenei captate (fig. 5.6, *b*).

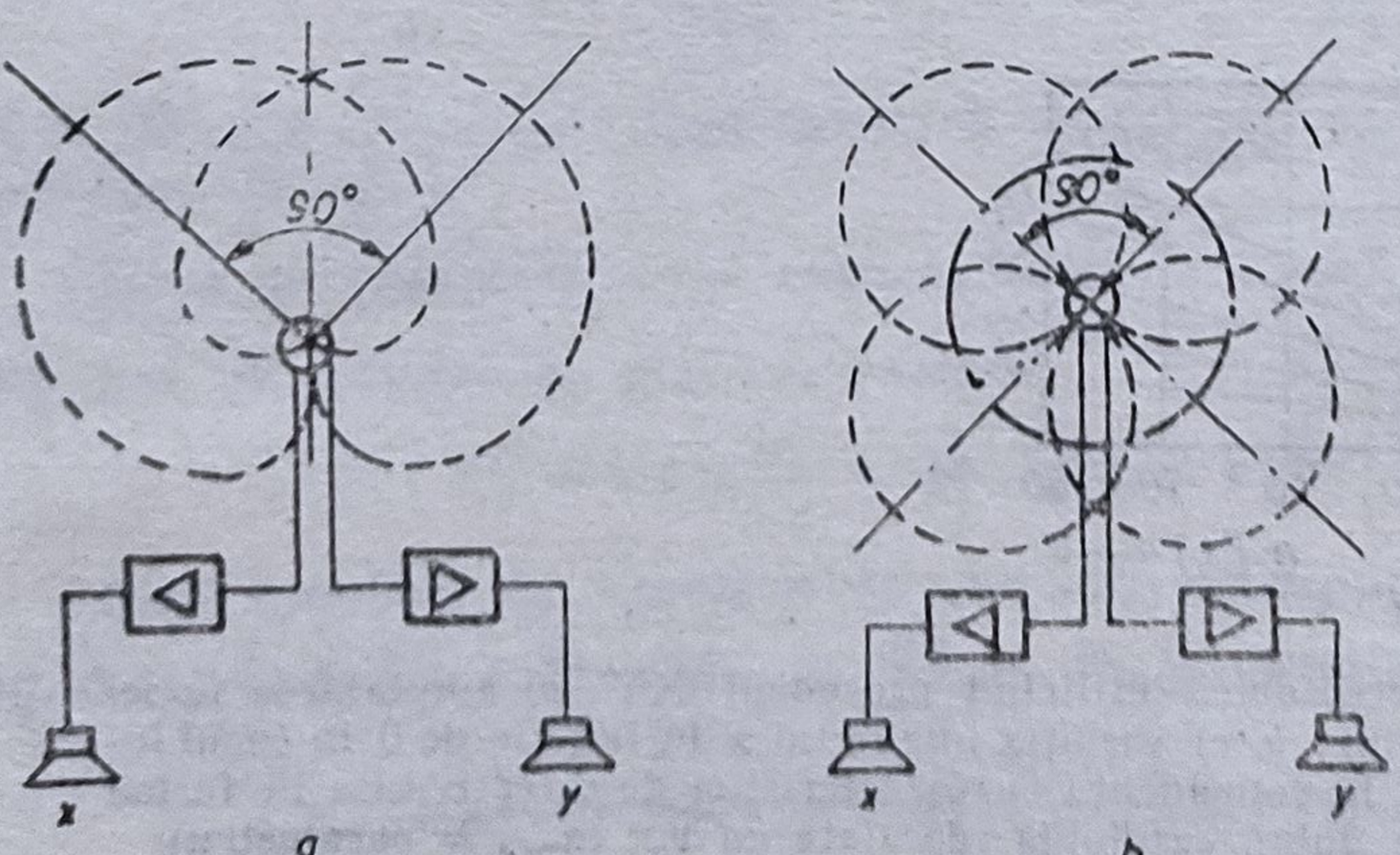


Fig. 5.6. Captarea stereofonică bazată pe procedeul XY :
a) procedeul XY cardioid ;
b) procedeul XY stereosonic.

Ca și procedeul XY cardioid, procedeul XY sterosonic folosește numai relațiile de intensitate și deci semnalul X + Y este compatibil. Acest sistem are avantajul că unghiul de localizare a imaginii sursei sonore este mai aproape de cel real, însă are și următoarele inconveniente :

— nu se poate folosi cu rezultate bune în săli cu reverberație mare deoarece se captează reverberația sălii și prin spatele microfoanelor ;

— în cazul folosirii mai multor microfoane în coincidență, trebuie să se acorde mai mare atenție pentru a nu se capta și surse nedorite care să introducă imagini false.

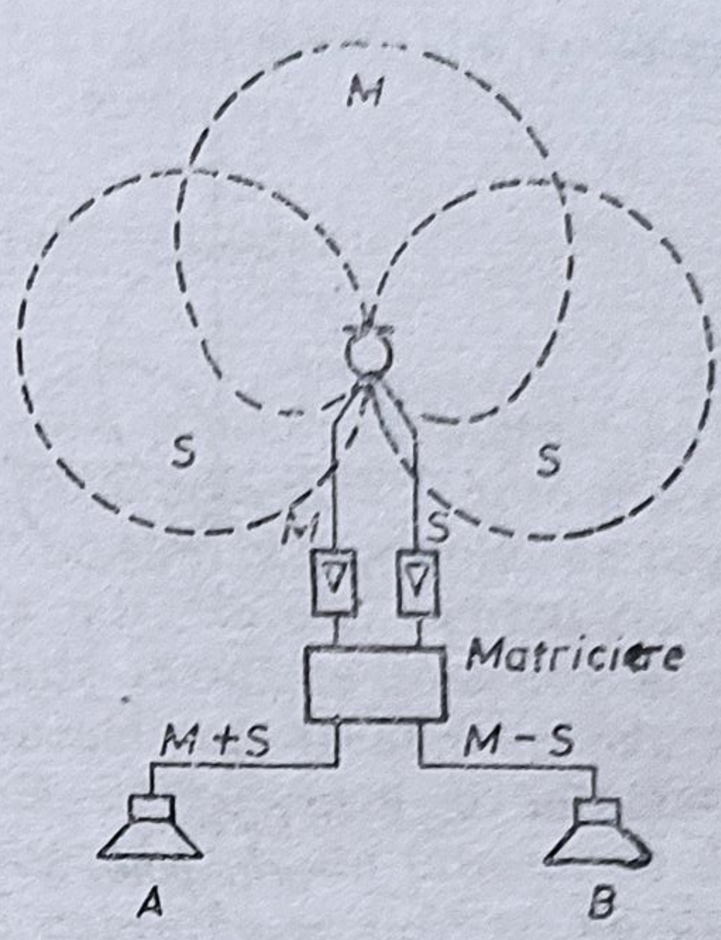


Fig. 5.7. Captarea stereofonică bazată pe procedeul de intensitate MS.

C. Procedeul MS

Procedeul de captare MS (prescurtare de la germ. *Mitte — Seite*, ceea ce înseamnă centru — lateral) impune utilizarea unor microfoane de coincidență, caracteristicile de directivitate ale celor două capsule fiind, în general diferite, așa cum rezultă din (fig. 5.7). Din această cauză se mai numește și *asimetric*.

Se poate observa că una din capsulele microfonului, și anume cea care furnizează semnal M, este orientată spre sursa sonoră (direcția principală), pe cînd cealaltă este orientată perpendicular pe prima (aceasta din urmă furnizează semnalul S). La difuzoarele amplasate în fața ascultătorului vor ajunge însă pînă la urmă semnalele M + S și M — S obținute prin intermediul unui dispozitiv de însumare și scădere. Deci, pentru a fi transmise prin cele două canale stereofonice, care sînt simetrice, semnalele M și S sînt convertite în semnale simetrice X și Y (egale cu M + S, respectiv M — S).

În fiecare din variantele MS, semnalul sumă M + S, și cel diferență M — S, se determină în funcție de tensiunile obținute la bornele celor două capsule ale microfonului de coincidență, relațiile matematice corespunzătoare fiind :

$$E_1 = e\left[R_1(\theta) + R_2\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]$$

$$E_2 = e\left[R_1(\theta) - R_2\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]$$

Funcțiile R_1 și R_2 diferă de la caz la caz ; astfel, cînd caracteristicile de directivitate au formă de cardioidă și opt și sînt decalate între ele cu $\frac{\pi}{2}$ (fig. 5.8, *a*), se poate scrie că suma M + S este de forma

$$E_1 = e\left[1 + \cos\theta + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right] \qquad (5.4)$$

iar diferența M — S de forma

$$E_2 = e\left[1 + \cos\theta - \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right] \qquad (5.4')$$

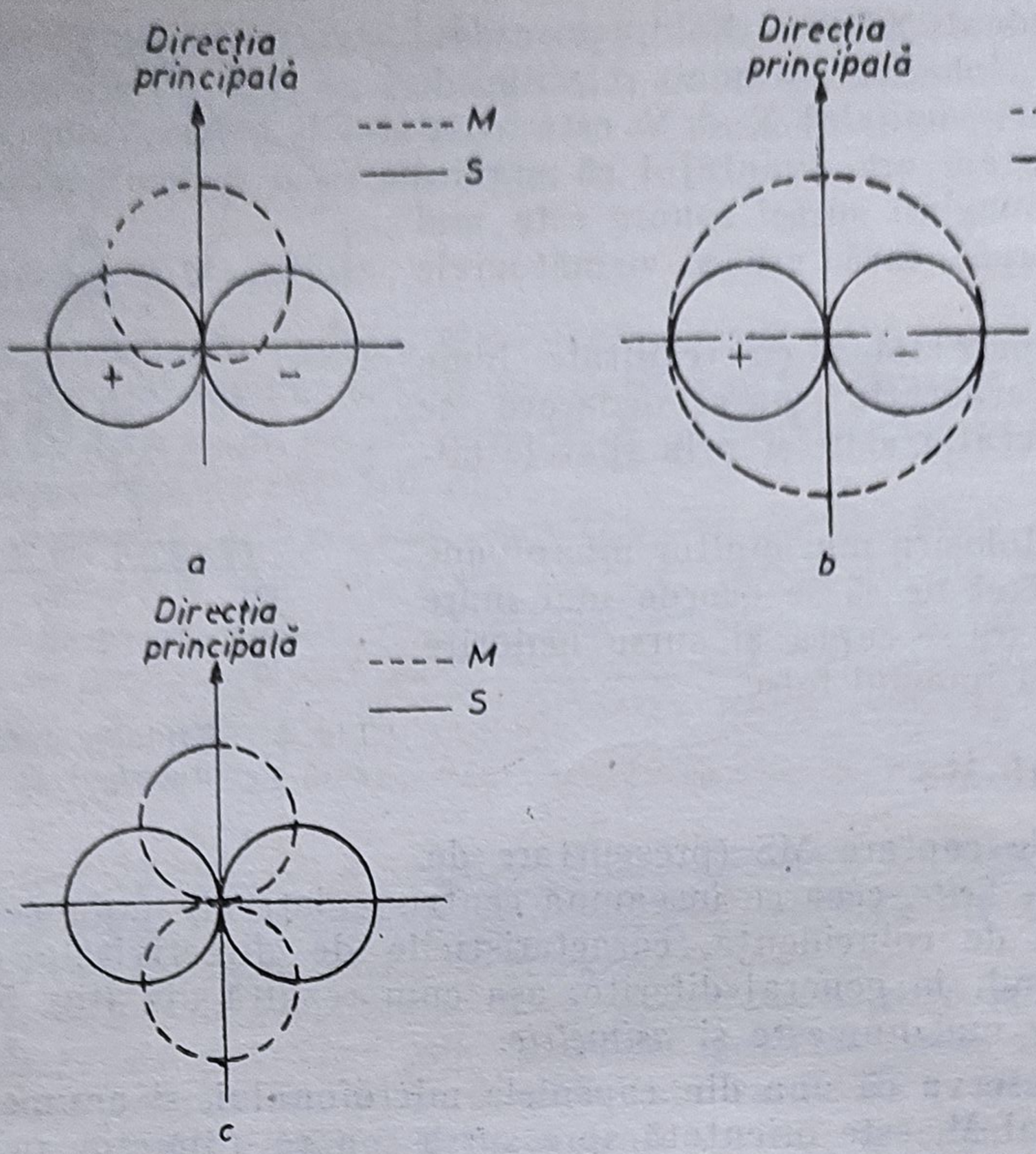


Fig. 5.8. Caracteristicile de directivitate ale microfoanelor de coincidență utilizate în procedeul de înregistrare stereofonică MS.

Dacă pentru captarea stereofonică se utilizează sistemul MS cu caracteristicile de directivitate cerc și opt decalate cu $\frac{\pi}{2}$ (fig. 5.8, *b*), relațiile matematice sînt

$$E_1 = e\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]; \quad E_2 = e\left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)\right] \tag{5.5}$$

În cea de-a treia situație (fig. 5.8, *c*) cînd se folosesc caracteristici sub formă de opt decalate cu $\frac{\pi}{2}$, expresiile matematice corespunzătoare sînt

$$E_1 = e\left[\cos\theta + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]; \quad E_2 = e\left[\cos\theta - \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right] \tag{5.6}$$

Dacă folosim un microfon principal *M* cu caracteristică cardioidă, îndreptat cu axa de sensibilitate maximă către sursă, și microfonul secundar *S* cu caracteristică bidirecțională, cu axa perpendiculară pe această direcție (fig. 5.7), semnalul *M* (dat de microfonul cardioid) este prin excelență compatibil, *M* fiind de fapt un microfon normal, în captare monofonică, iar semnalul S (dat de microfonul bidirecțional) asigură informația stereofonică necesară. Inconvenientul acestui procedeu constă într-o insuficientă precizare a contururilor laterale ale imaginilor surselor, ceea ce conduce la tendința de a mări nejustificat semnalul S, ajungîndu-se la limita de opoziție de fază pentru frecvențele superioare și la apariția unei sonorități aspre, caracteris-

tice acestui procedeu de captare. De aceea procedeul este folosit din ce în ce mai puţin.

D. Procedeul de panoramare a sunetelor captate monofonic

a) Captarea cu un microfon auxiliar

La captarea stereofonică a sunetului prin toate procedeele stereofonice apar o serie de deficienţe neplăcute, care deformează imaginea sonoră a scenei reale, cum sînt : neuniformitatea repartizării surselor reale, golul de mijloc, deplasarea neuniformă a unei surse sonore în mişcare etc. Pentru remedierea acestor deficienţe s-a experimentat cu bune rezultate folosirea unui microfon monofonic care se amplasează în zona scenei care trebuie corectată, iar semnalul captat se introduce pe cele două canale prin panoramare (fig. 5.9, *a*). Microfonul ajutător se foloseşte de regulă la toate procedeele de captare stereofonică mai ales în cazurile în care captarea se face cu un singur microfon stereofonic şi scena sonoră care trebuie captată este destul de largă. Caracteristica microfonului ajutător se alege în funcţie de fenomenul pe care dorim să-l corectăm iar în cazurile în care nu există un scop precis se alege la fel cu cea a cuplului de microfoane stereo folosite la captarea respectivă. În cazul în care se constată că microfonul ajutător nu contribuie la îmbunătăţirea captării stereofonice problema se rezolvă uşor prin închiderea căii pe care este conectat, iar atunci cînd este necesar (numai la anumite pasaje ale piesei muzicale) el va fi deschis la momentele şi pe durata necesară.

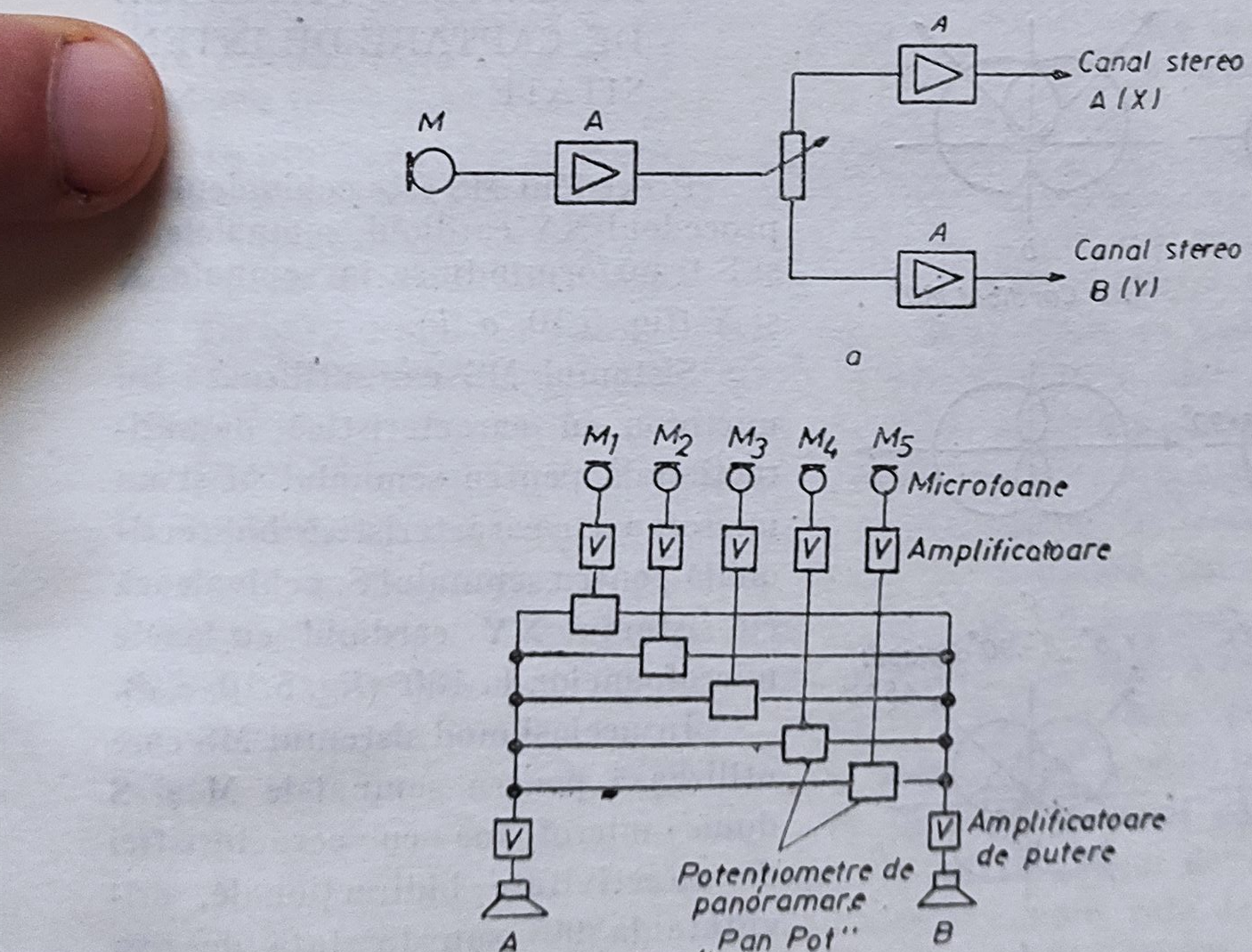


Fig. 5.9. *a*) Schema de principiu pentru conectarea microfonului auxiliar la cele două canale stereo : *M* — microfon ; *A* — amplificatoare ; *b*) Procedeul de intensitate cu repartizarea modulaţiilor monofonice pe cele două canale stereo (dublă monofonie).

La procedeul AB îndepărtat se recomandă să se folosească ca microfon auxiliar un microfon stereofonic în coincidenţă cu caracteristica cardioidă şi axele la $60° \div 90°$. În funcţie de structura şi întinderea scenei reale şi de rezultatele obţinute se vor modifica caracteristicile şi unghiul dintre axe pentru a evita imaginile duble.

b) Captarea cu mai multe microfoane monofonice

Are la bază procedeul de intensitate şi utilizează un număr de microfoane monofonice egal cu al surselor de semnal ce trebuiesc individualizate şi localizate cît mai exact în scena imagine la audiţia stereofonică. Repartizarea semnalelor monofonice pe cele două canale A şi B se face în proporţii variabile, prin atenuatoare speciale de amestec. Schema de principiu prin care se poate regla poziţia imaginii surselor în scena sonoră imagine prin acest procedeu este arătată în fig. 5.9, *b*.

Acest procedeu de captare stereofonică nu se foloseşte ca procedeu de sine stătător deoarece dă imagini prea concentrate, între care apar goluri ce trebuiesc umplute prin alt procedeu de captare. De aceea se întrebuinţează ca procedeu ajutător, pentru localizarea unor surse sonore la diferite genuri de captare şi în special la muzică uşoară (unde de multe ori se poate întrebuinţa chiar şi singur).

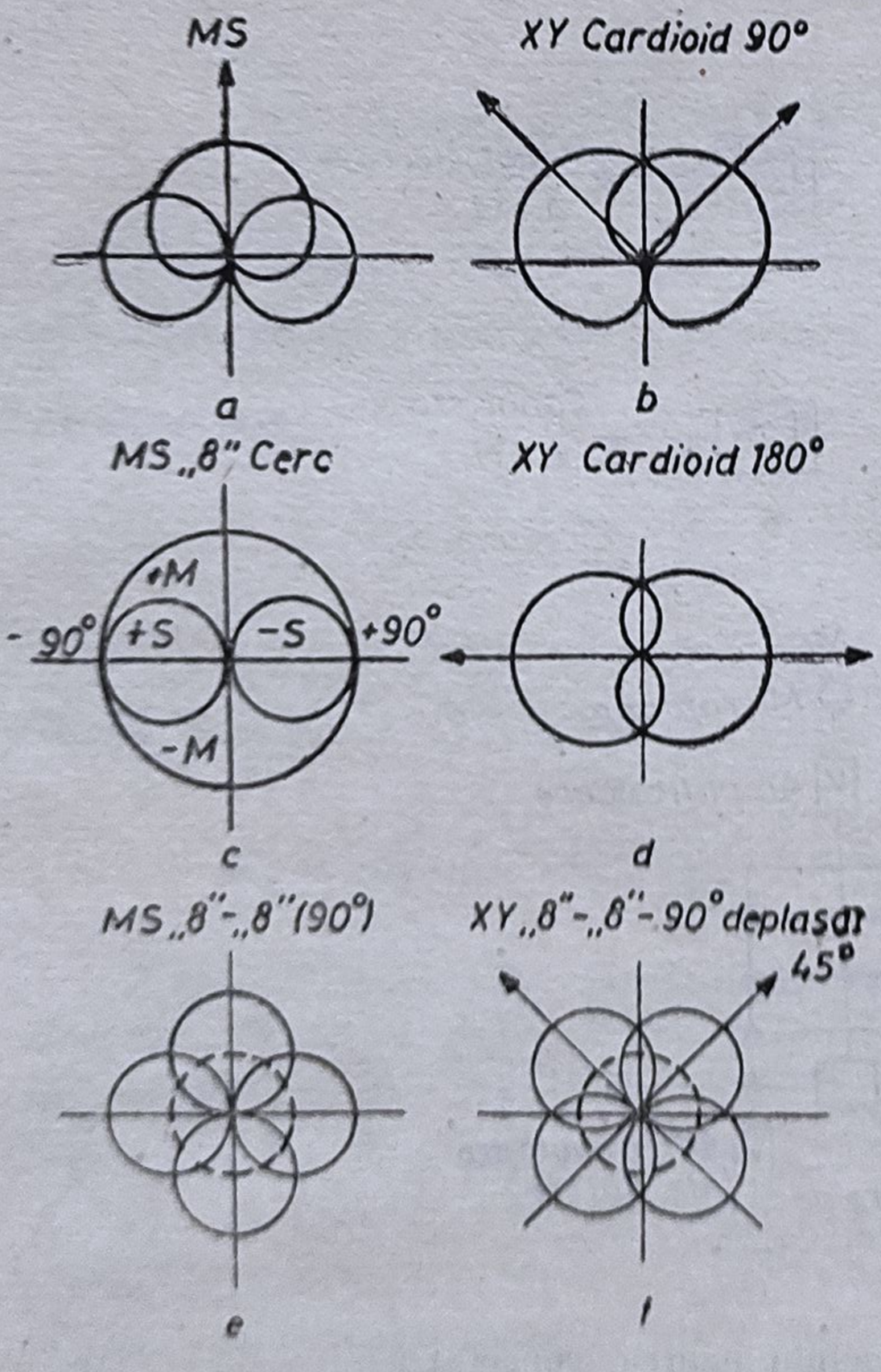


Fig. 5.10. Corespondenţa dintre caracteristicile de directivitate ale microfoanelor de coincidenţă utilizate în procedeele de înregistrare MS şi XY.

5.1.3. ECHIVALENŢA DINTRE DIFERITELE PROCEDEE DE CAPTARE DE INTENSITATE

Procedeul MS este echivalent cu procedeul XY cardioid, semnalele M şi S transformîndu-se în semnale X şi Y (fig. 5.10, *a*, *b*).

Sistemul MS care utilizează un microfon cu caracteristică omnidirecţională pentru semnalul M şi un microfon cu caracteristică bidirecţională pentru semnalul S, echivalează cu sistemul XY cardioid cu axele microfoanelor la 180° (fig. 5.10, *c*, *d*).

În acelaşi mod sistemul MS care utilizează pentru semnalele M şi S două microfoane cu caracteristici de directivitate bidirecţionale, orientate la 90° sau 45° faţă de axa scenei captate (fig. 5.10, *e*, *f*), echivalează cu sistemul XY stereosonic.

Aceste relaţii de echivalenţă dintre cele două sisteme pot fi con-

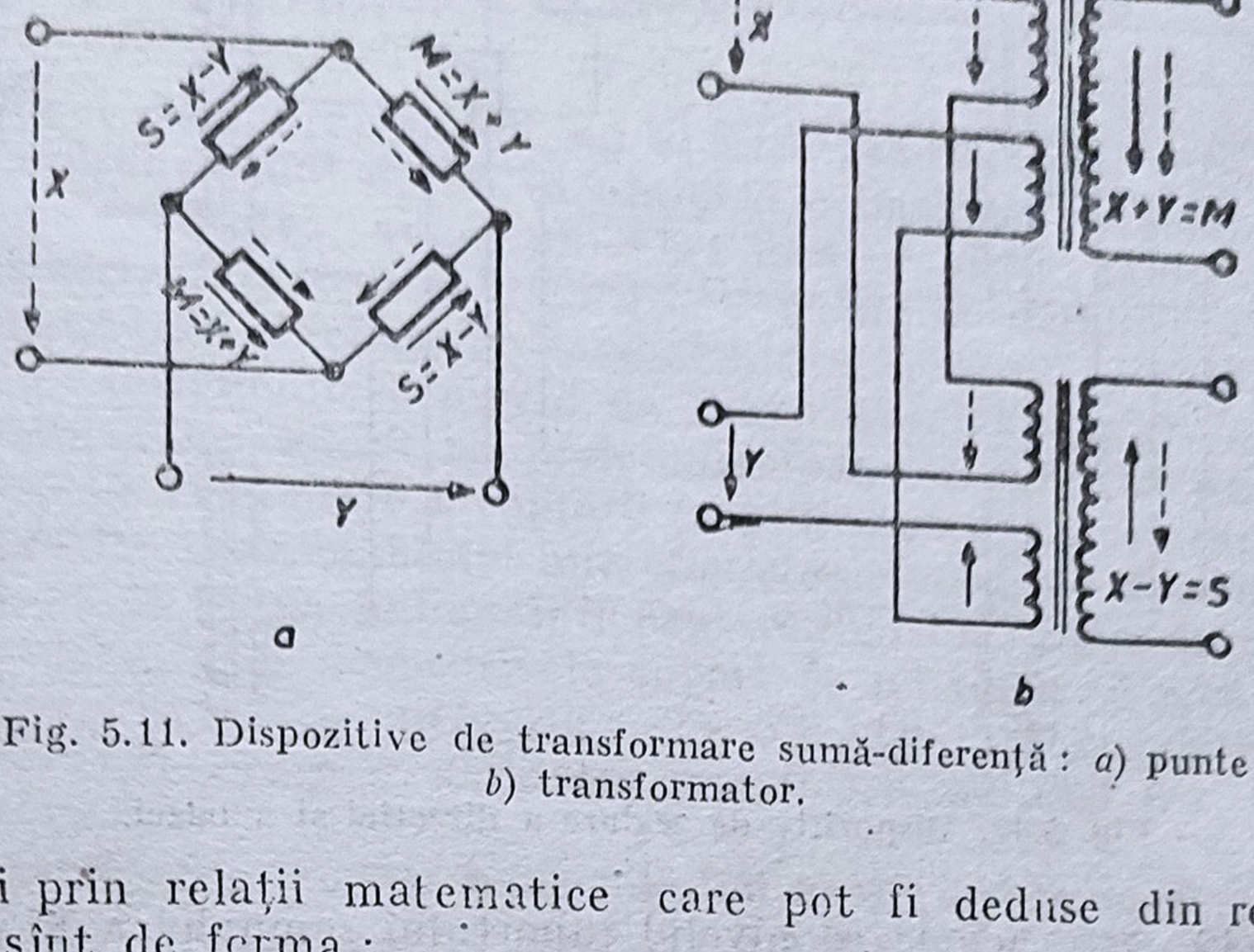


Fig. 5.11. Dispozitive de transformare sumă-diferență : *a*) punte; *b*) transformator.

cretizate și prin relații matematice care pot fi deduse din relațiile (5.1) ÷ (5.6) și sînt de forma :

$$\begin{aligned} M + S &= qX \qquad X + Y = pM \\ M - S &= qY \qquad X - Y = pS \end{aligned} \tag{5.7}$$

Dispozitivul capabil să efectueze aceste transformări poate fi sau de tipul punte (5.11, *a*), sau de tipul transformator (fig. 5.11, *b*). În schemele de principiu ale acestor dispozitive sînt indicate sensurile curenților din fiecare circuit, fiind evident că ambele dispozitive pot asigura însumarea și scăderea semnalelor stereofonice.

În practică, însă, se folosește mai mult dispozitivul cu transformator, deoarece acesta prezintă un dublu avantaj : pe de o parte, nu introduce atenuări suplimentare în lanțul electroacustic, iar pe de altă parte, poate fi utilizat și ca element intermediar între circuitele simetrice și cele asimetrice.

Ca efect asupra audiției, trebuie să se menționeze că modificarea raportului între nivelele semnalelor X, Y dintr-un sistem stereofonic produce *schimbarea direcției* sursei aparente, pe cînd modificarea raportului între nivelele semnalelor M, S și, în special, schimbarea valorii nivelului semnalului S determină *mărirea* sau *micșorarea lărgimii bazei*. În acest scop a și fost conceput un dispozitiv cu ajutorul căruia se realizează atît modificarea de direcție cît și cea de lărgime a bazei. Acest aparat denumit „dispozitiv de reglare a direcției și a bazei“ este prezentat în fig. 5.12. Dimensionarea elementului pentru reglarea direcției, R_D, se face pe baza rezultatelor măsurătorilor efectuate de De Boer, care a stabilit valoarea de 27° ca valoare maximă a unghiului de deviație a sursei sonore aparente față de axa de simetrie a difuzoarelor. Știind că pragul de sensibilitate al urechii, în ceea ce privește localizarea surselor sonore, este de 3° ÷ 4° și raportînd la această valoare valoarea unghiului maxim de 27°, rezultă că R_D trebuie să aibă 8 poziții de reglaj. Dimensionarea elementului pentru reglarea bazei, R_B, se face pornind, de asemenea, de la rezultatele obținute de De Boer : el a stabilit că pentru ca imaginea sonoră să fie „totul stînga“ sau

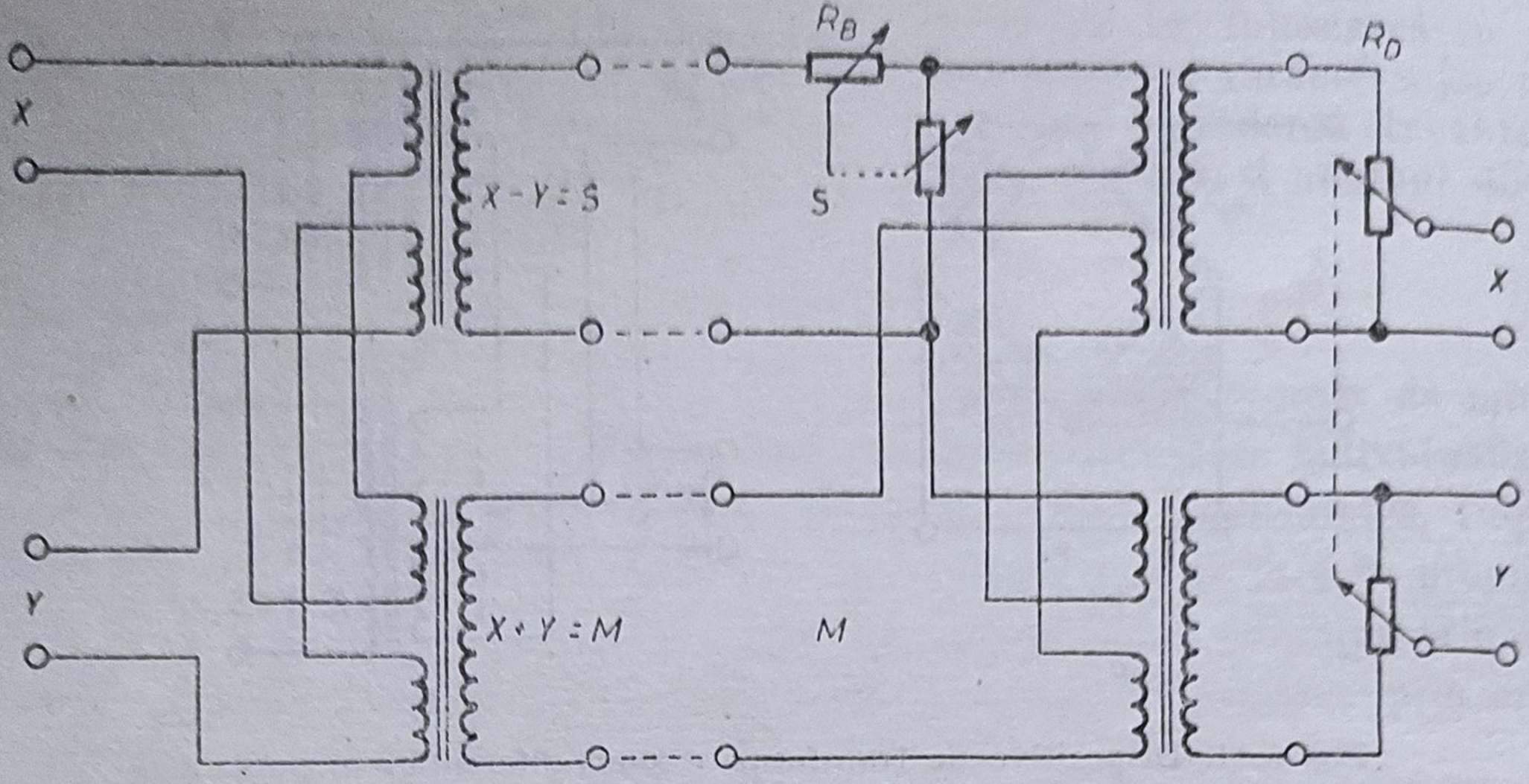


Fig. 5.12. Dispozitiv de reglare a direcției și a bazei.

„totul dreapta“ este nevoie ca nivelul raportului semnalelor X și Y să fie 14 dB.

Procedeele de captare AB, XY, MS se pot folosi și cu mai multe microfoane ajutătoare stereofonice în coincidență sau, la procedeele de intensitate, cu microfoane monofonice ajutătoare repartizate.

•

5.2. SOLUȚII PRACTICE DE CAPTARE

Procedeul de captare se alege în funcție de diferitele genuri de producție muzicală — simfonic, liric, muzică de cameră, muzică ușoară, varietăți, teatru, spectacole etc. De asemeni, se va avea în vedere destinația producției captate (case de discuri, cinematografie, radiodifuziune, televiziune etc.) precum și condițiile tehnice de care dispunem (studiouri, instalații de prelucrare etc.).

În practică, procedeele de captare de bază se rezumă la trei tipuri (fig. 5.13):

— procedeul AB apropiat cu cap artificial sau cu panouri difractante;
— procedeul XY stereosonic (sau XY cardioid);
— procedeul AB îndepărtat corectat cu microfon central monofonic.

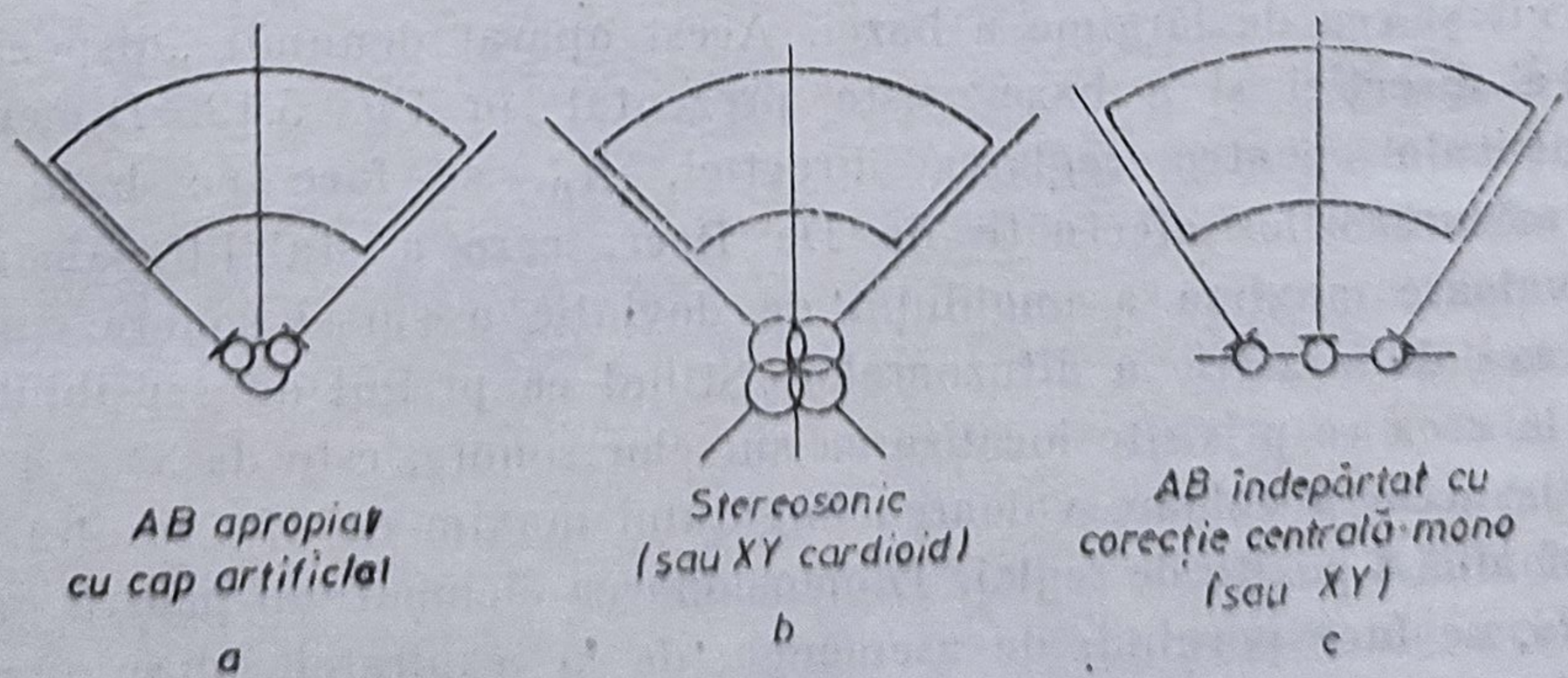


Fig. 5.13. Procedeele uzuale de captare stereofonică.

5.2.1. PROCEDEUL AB APROPIAT CU CAP ARTIFICIAL SAU PANOURI DIFRACTANTE

Procedeul AB apropiat cu cap artificial sau panouri difractante se va întrebuința atunci cînd dorim să obținem o imagine stereofonică care redă cel mai bine realitatea, avînd un relief local și global profund, cu planuri perfect distincte care scot în evidență elemente de detaliu.

Pentru obținerea efectului stereofonic prin acest procedeu, se recomandă să se întrebuințeze numai un singur ansamblu microfon stereofonic și să nu se introducă un alt cuplu de microfoane stereofonice decît dacă orice alt procedeu de ameliorare a captării (modificarea amplasamentului, a directivității surselor și ansamblului microfon stereofonic) s-a dovedit insuficient.

Pentru a se putea îmbunătăți captarea cu un singur ansamblu microfonic, este necesar ca dispozitivele suport de microfon să aibă posibilitatea modificării foarte fine a unghiurilor (2°—5°), atît în plan orizontal cît și în plan vertical, precum și posibilitatea modificării înălțimii (cu valori de ordinul a 2—5 cm).

Realizarea unei captări bune folosind aceste procedee necesită un timp mult mai lung față de alte tipuri de amplasamente. Rezultatele care se pot obține justifică însă timpul consumat pentru a găsi cea mai bună soluție.

Deoarece cuplul microfonic este departe față de sursele sonore, semnalul captat este destul de mic și trebuie mult amplificat. Pentru acest motiv se vor folosi instalații cu zgomot de fond foarte redus și care nu introduc distorsiuni de fază.

5.2.2. PROCEDEUL XY STEREOSONIC

Procedeul XY stereosonic fiind un procedeu de intensitate, nu dă același relief ca procedeul AB cu cap artificial, dar oferă ascultătorului senzația unei scene sonore lărgite, cu posibilitatea localizării surselor imaginare pe diferite direcții, mai mult în plan și mai puțin în spațiu; relieful fiecărui subiect sonor nu este pronunțat și bine conturat ca în cazul audiției directe.

Amplasamentul în acest caz este mult mai ușor decît în procedeul AB cu cap artificial, introducerea microfoanelor ajutătoare, în special a celor monofonice panoramate, fiind acceptată și folosită în exploatare.

Semnalul X + Y fiind compatibil, procedeul e folosit mult în radio-televiziuni și casele de discuri.

În concluzie, acest procedeu se poate întrebuința la toate genurile muzicale, în cazurile în care nu se cere obținerea unei calități maxime în redarea stereofonică a sunetului și mai ales atunci cînd nu dispunem de mult timp pentru realizarea captării. Procedeul este recomandat în special pentru spectacolele „sunet și lumină", atît din motive tehnice cît și din motive artistice, ambianța sonoră putînd fi realizată în aceste situații la scară foarte mare numai prin deplasarea surselor panoramate.

5.2.3. PROCEDEUL AB ÎNDEPĂRTAT CU CORECȚIE CENTRALĂ

Captarea realizată cu ajutorul procedeului AB îndepărtat cu corecție centrală creează impresia unei scene lărgite, a unei localizări și a unui relief acceptabil, însă introduce distorsiuni de fază pentru sursele apropiate de zona centrală, în cazul în care nu se iau măsuri speciale.

Procedeul este comod în exploatare și este utilizat de casele de discuri și în radiodifuziune în cazurile care cer operativitate și nu pretind calitate ridicată la ascultarea stereo. Prin acest procedeu se obține o stereofonie de compromis acceptabilă, putîndu-se întrebuința, pentru îmbunătățirea imaginii sonore, microfoane ajutătoare, mai ușor ca în procedeul AB cu cap artificial.

5.3. EXEMPLE DE APLICARE ÎN PRACTICĂ A PROCEDEELOR DE CAPTARE STEREOFONICĂ A SUNETULUI

5.3.1. CAPTAREA MUZICII UȘOARE ȘI A JAZZULUI

În captările de muzică ușoară stereo s-a impus mai mult *captarea fracțională*, utilizîndu-se mai multe cupluri de microfoane de importanță egală. În acest scop se întrebuințează cîte un cuplu de microfoane pentru fiecare grup de instrumente izolate între ele printr-o distanță mai mare, eventual și prin panouri despărțitoare.

Scena sonoră, constituită prin suprapunerea modulațiilor microfoanelor ce conțin reliefuri locale bine conturate, va trebui să fie bine echilibrată pentru a prezenta și un relief global cît mai clar și natural.

În practica captării muzicii ușoare stereofonice rezultatele cele mai bune s-au obținut prin procedeul de intensitate, procedeul AB apropiat fiind destul de incomod și nefiind apreciat de amatorii genului.

Captarea prin procedeul de intensitate

Soluția cea mai răspîndită în captarea muzicii ușoare este cea cu microfoane multiple *stereofonice* și *monofonice panoramate*.

Procedeul de intensitate este mai comod la captarea muzicii ușoare, permițînd ușor modificarea lărgimii imaginilor, a localizărilor prin panoramare, întrebuințarea filtrelor și a reverberației artificiale în mod corespunzător pe diferite canale pentru obținerea efectelor dorite. Față de captarea monofonică, la captarea stereofonică se va urmări construcția scenei sonore prin localizări și relief global, verificînd compatibilitatea prin sondaje de audiție monofonică a captării stereofonice.

Se va avea în vedere că microfoanele panoramate produc imagini punctiforme separate prin spații de liniște (goluri), care trebuie umplute în mod corespunzător cu reverberație controlată.

În multe situații cînd se adaugă și *reverberație de ansamblu* (de atmosferă) se poate renunța la microfonul stereofonic general (de atmosferă), aportul acestuia fiind foarte redus.

La captarea stereo fracționată magnetofonul cu mai multe piste se folosește cu mai mult succes. Se obișnuiește să se facă o înregistrare fracționată (simultan sau succesiv) pe mai multe piste, iar ulterior prin prelucrarea și suprapunerea semnalelor să se realizeze o înregistrare mono și separat una stereo.

În cazul în care se dispune de suficiente piste de înregistrare se poate capta și înregistra de la început fiecare cuplu de microfoane pe piste diferite A și B, iar suprapunerea semnalelor se face ulterior.

De obicei, însă, captarea se face cu microfoane monofonice, repartizînd modulațiile la realizarea copiei stereofonice pe cele două canale A și B locali-

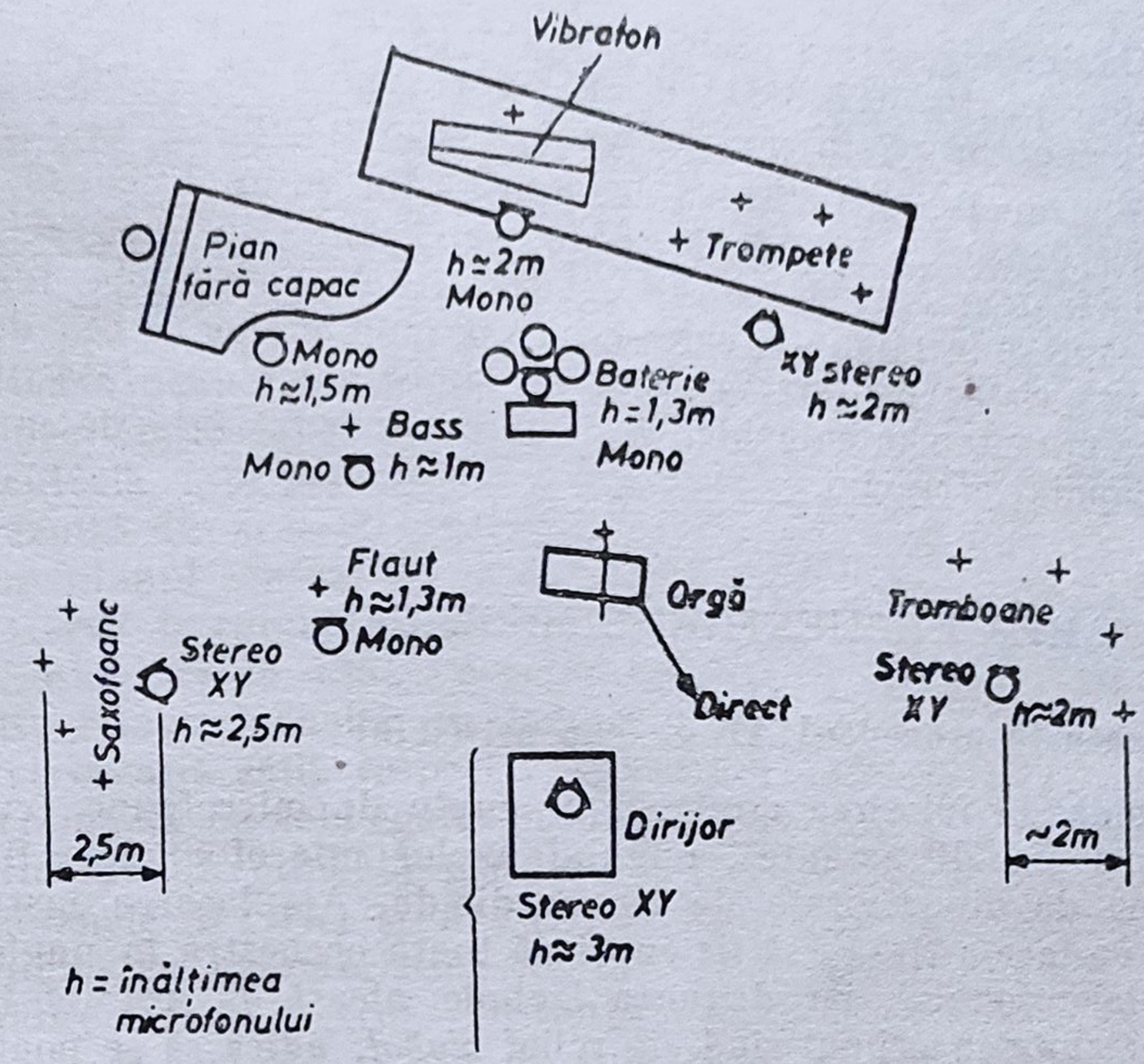


Fig. 5.14. Captarea unei orchestre mari de estradă prin amplasamentul experimentat la BBC.

zînd după dorință imaginile surselor sonore prin panoramare. Reverberația artificială se adaugă separat la mixajul copiilor mono și stereo.

Se obișnuiește în practică să se urmărească localizarea a 4—5 surse principale repartizate pe toată suprafața scenei sonore. În fig. 5.14 se exemplifică un amplasament pentru captarea fracționată a unei orchestre mari de muzică ușoară, experimentat de BBC și aplicat cu rezultate bune de alte studiouri de radio.

5.3.2. CAPTAREA MUZICII POPULARE ROMÂNEȘTI

Orchestrele de muzică populară românească se încadrează de regulă în categoria formațiilor destul de omogene, la care se folosește cu rezultate bune atît procedeul AB cu cap artificial cît și procedeul de intensitate XY.

În cazul folosirii procedeului AB cu cap artificial este necesar un timp mai îndelungat pentru stabilirea soluției celei mai bune de amplasament, iar pentru solistul vocal se folosește de regulă un microfon separat, în coincidență sau mono, repartizat egal pe cele două canale A și B.

La captarea prin procedeul de intensitate se întrebuințează de regulă un singur microfon în coincidență XY cardioid, cu axele microfoanelor la 90°, care dă un relief mai puțin marcat decît cel obținut prin procedeul AB apropiat, însă cu o scenă largă și cu localizări mai evidente ale subiectelor. Și în acest caz microfonul solistului poate fi *stereofonic* (XY) cu caracteristici de directivitate unidirecționale sau *monofonic repartizat prin panoramare.*

Dispunerea orchestrei pe scenă este aceeeași atît în cazul folosirii procedeului AB apropiat cît și în cazul procedeului de intensitate, folosindu-se

pentru unele instrumente (ca de exemplu contrabasul) practicabile de diferite înălțimi pentru echilibrarea nivelelor sonore ale acestora, care fără acest aranjament ar părea mai șterse în scena imagine.

Existența unei secții ritmice compusă din țambal, cobză, contrabas (și uneori acordeon), ce trebuie să se detașeze clar, și a unei secții melodice compusă din instrumente de coarde, clarinet, nai sau taragot justifică și în acest caz o captare fracționată, care se face în mod analog cu cea de la muzica ușoară. Acest gen de captare necesită un timp mai redus față de captarea cu un singur microfon în coincidență și mult mai redus față de captarea prin procedeul capului artificial.

5.3.3. CAPTAREA ORCHESTREI SIMFONICE

Captarea prin procedeul AB cu cap artificial

Se recomandă folosirea unui singur cuplu de microfoane (cu cap artificial sau panouri difractante), unghiul axelor microfoanelor fiind de 90 iar diagrama de directivitate de tip cardioidă. Amplasarea instrumentelor pe scenă se va face astfel ca să fie cuprinsă toată orchestra în unghiul de deschidere al microfonului, iar distanța trebuie aleasă în așa fel încît scena sonoră să prezinte în primul rînd un relief *global*, adică să se poată distinge diferite planuri diferențiate și bine echilibrate.

În al doilea rînd trebuie să existe și un relief *local* bine conturat pentru fiecare grup de instrumente, care să poată fi apreciat după dorința ascultătorului atunci cînd acesta își concentrează atenția asupra unui grup de instrumente sau a unui singur instrument.

Captarea prin procedeul XY „stereosonic"

Se recomandă și în acest caz folosirea unui singur microfon stereofonic în coincidență cu un unghi între axe de 90° și caracteristicile de directivitate bidirecționale. Folosirea a încă unui microfon stereofonic trebuie evitată pe cît posibil deoarece, în acest caz, găsirea unei soluții cît mai bune devine foarte greoaie.

Orchestra va fi dispusă pe scenă în formă de *sector de cerc*, astfel ca să fie cuprinsă între axele microfoanelor. Distanța microfonului stereo va rezulta ca urmare a alegerii unghiului de 90° și a întinderii laterale a orchestrei. Distribuția spațială a instrumentelor în lățime și profunzime, cît și echilibrului intensităților (al planelor) și o perspectivă generală, corectă, se asigură prin amplasarea instrumentiștilor și prin ajustarea înălțimii și unghiurilor microfoanelor.

Într-un studio de reverberație mare, pentru a se menține un echilibru corect, se va impune apropierea microfonului stereo, ceea ce va antrena lărgirea scenei subiective prea mult.

Fără a mări unghiul microfoanelor peste 90°, se poate corecta această lărgire a scenei acționînd asupra dispozitivului de lărgire a imaginii, îngustînd-o (prin reducerea semnalului $S = X - Y$ față de $M = X + Y$). Prin această operație se reduce însă reverberația și este necesar, de data aceasta, să se depărteze microfonul.

Acționînd deci prin încercări succesive asupra distanței microfonului și dispozitivului de lărgire a imaginii, se poate obține o scenă destul de mare

și o prezență normală a instrumentelor încadrate într-o perspectivă corectă și o culoare sonoră plăcută, păstrînd unghiul între axa microfoanelor de 90°.

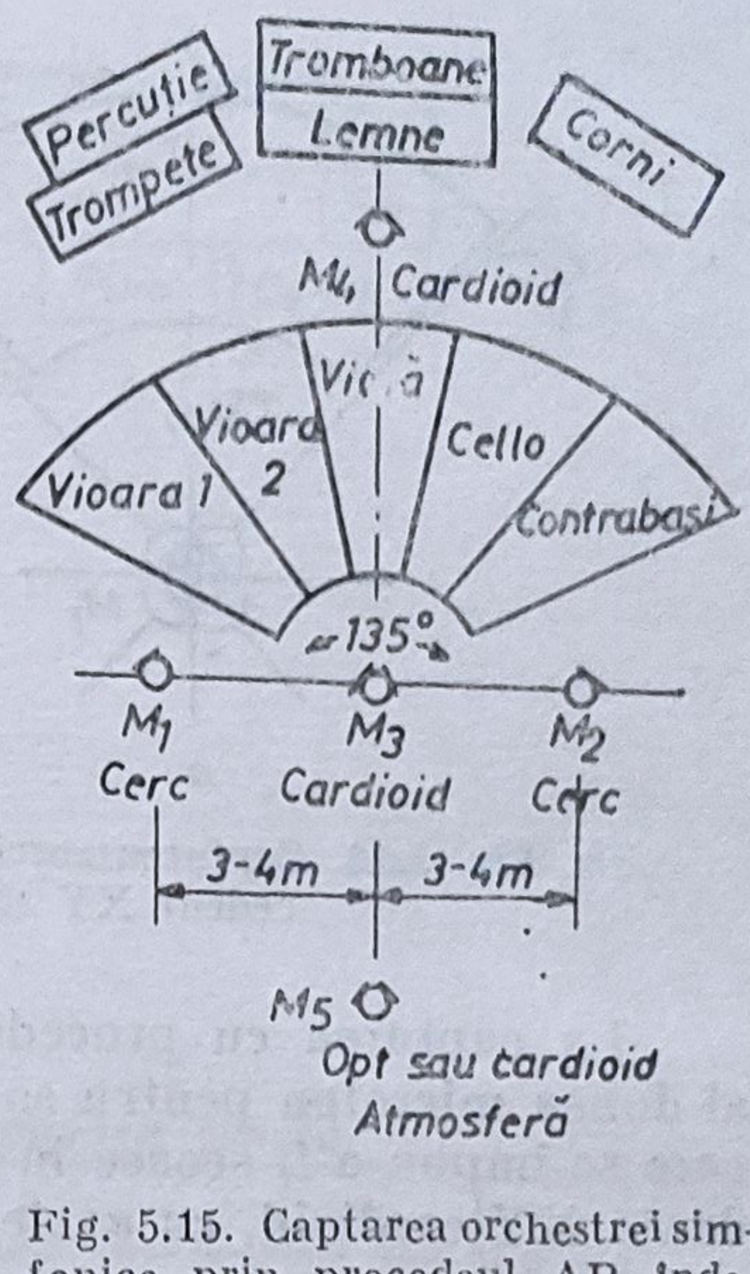


Fig. 5.15. Captarea orchestrei simfonice prin procedeul AB îndepărtat cu corecție centrală.

Captarea prin procedeul AB îndepărtat cu corecție centrală

O variantă de amplasament, la captarea sunetului prin procedeul AB îndepărtat cu corecție centrală, este prezentată în fig. 5.15. Așa cum rezultă din această schemă de amplasament, microfonul central de corecție este un microfon stereo în coincidență, capsulele acestuia fiind orientate la 135°. Caracteristica de directivitate a microfoanelor se alege în funcție de reverberația sălii, respectiv caracteristică bidirecțională cu lobi egali sau inegali sau caracteristică unidirecțională (cardioidă).

Microfoanele *M1* (A) și *M2* (B) sînt de tip monofonic cu caracteristică de directivitate omnidirecțională (cerc). Distanța între microfoanele *M1* și *M2* și axa de simetrie a sistemului de captare este de 3—4 m, iar înălțimea tot de 3—4 m. Microfonul central *M3* este situat puțin în spatele dirijorului. În afară de acest sistem de trei microfoane se mai folosește un microfon *M5* stereofonic XY, ca microfon de atmosferă, îndepărtat și înălțat în sală (în locul acestui microfon se pot folosi două microfoane monofonice), cu caracteristică bidirecțională sau unidirecțională.

Pentru accentuarea grupei suflătorilor de lemn se mai folosește un microfon *M4* (XY cardioid). Grupele suflătorilor împreună cu acest microfon sînt îndepărtate de restul orchestrei. Acest amplasament se pretează să fi folosit la captarea efectuată într-o biserică cu reverberație mare, care poate fi redusă dacă este necesar prin panouri și prelate. Asupra microfoanelor de corecție centrală se poate acționa la nevoie pentru modificarea lățimii imaginii prin dispozitivul de corecție.

Lățimea imaginii se urmărește cu osciloscopul catodic.

5.3.4. CAPTAREA ORCHESTREI SIMFONICE CU SOLIST

Captarea orchestrei simfonice cu solist se poate face cu rezultate comparabile atît prin procedeul AB apropiat cu cap artificial, cît și prin procedeul XY stereosonic.

În cazul procedeului AB cu cap artificial se recomandă să se folosească un singur microfon stereofonic (atît pentru orchestră cît și pentru solist) cu care prin diferite variante de amplasament se caută să se obțină imaginea sonoră cea mai apropiată de cea originală.

Dacă totuși nu se obțin rezultate bune cu un singur microfon și se impune introducerea celui de al doilea, acesta va fi identic cu primul (AB apropiat) iar echilibrarea modulațiilor pe cele două canale, care este deosebit de dificilă, se va face cu foarte mare atenție.

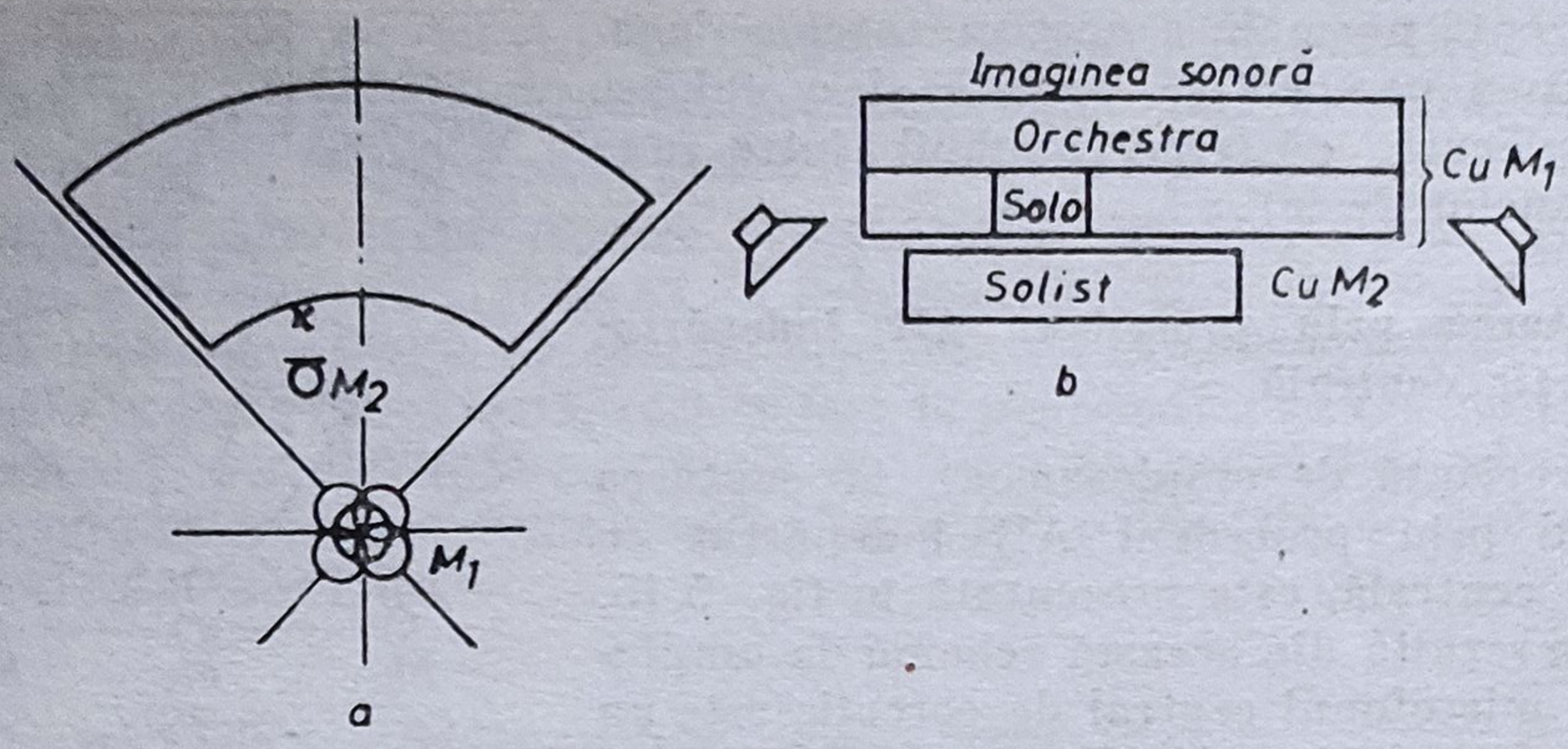


Fig. 5.16. Captarea orchestrei simfonice plus solist (vioară): *a*) procedeul XY stereosonic; *b*) scena sonoră (imagine).

La captarea cu procedeul XY stereosonic se poate folosi fără rezerve al doilea microfon pentru solist sau pentru un grup principal de instrumente care se impun a fi scoase în relief. Cel de al doilea microfon va fi în coincidență XY cardioid, cu axele la 90°, așa cum rezultă din fig. 5.16.

În toate cazurile în care se folosește al doilea microfon stereofonic, care de regulă are alt punct de amplasare față de scena sonoră, se va avea în vedere faptul că imaginile surselor, date de cel de al doilea microfon, vor apărea de regulă în alt punct decît cele date de microfonul principal și vor avea o lățime diferită, producînd uneori deformări care sînt supărătoare. Microfonul stereofonic ajutător fiind mai aproape, imaginea dată de acesta va fi întotdeauna mai „lată", iar dacă este deplasată vor apărea evident imagini duble.

Pentru a se evita acest fenomen neplăcut, care produce confuzii, este necesar:

— să se corecteze lățimea imaginii date de microfonul solistului pînă la lățimea dată de microfonul principal, acționînd asupra dispozitivului de modificare a lățimii și a dispozitivului „offset control" corespunzătoare canalului acestui microfon;

— să se centreze cu multă atenție imaginea celui de al doilea microfon prin amplasament sau prin dispozitivul de panoramare, ascultînd pe rînd, separat captările celor două microfoane și memorînd poziția imaginii, pînă se obține ca cele două imagini să se reproducă în același loc.

Dacă este necesar să se capteze un grup de instrumente solistice care ocupă un spațiu mare se poate întrebuința un microfon ajutător monofonic, care dă o imagine mai concentrată; aceasta se centrează prin dispozitivul de panoramare și prin „offset control", după care se echilibrează volumul. Dacă instrumentul solist este pianul (fig. 5.17) un mic grup vocal sau instrumental, și imaginea nu pare prea concentrată, se preferă folosirea microfonului stereofonic în coincidență.

În cazul în care caracteristicile celui de al doilea microfon și amplasamentul nu sînt alese cu grijă, acesta va capta și instrumente nedorite, care nu se vor putea suprapune exact pe imaginea lor dată de microfonul principal, dînd astfel imagini false (fig. 5.18).

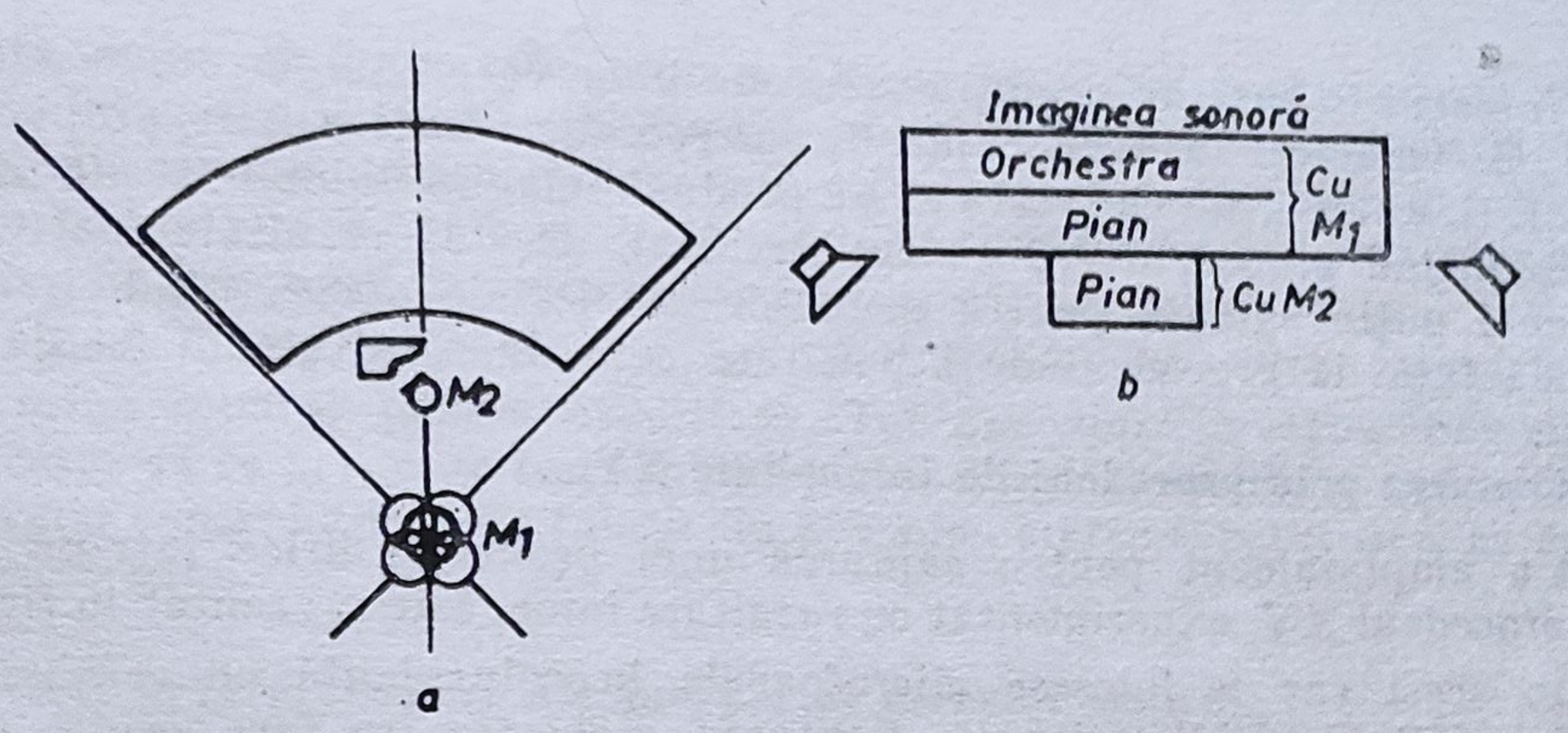


Fig. 5.17. Captarea orchestrei simfonice plus solo pian : *a*) procedeul XY stereosonic ; *b*) scena imagine.

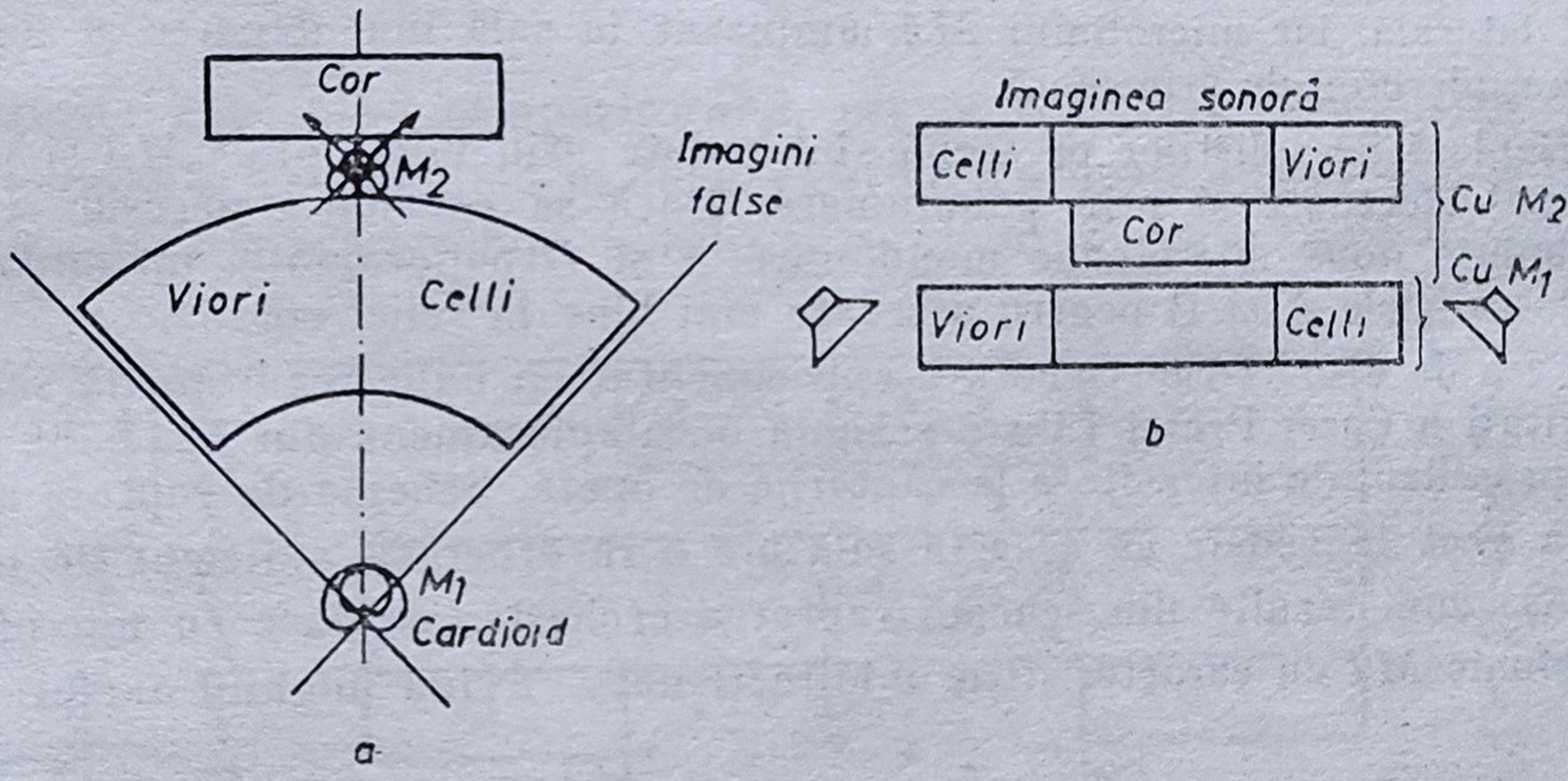


Fig. 5.18. Captarea incorectă a unei scene sonore : *a*) întrebuinţarea microfoanelor auxiliare bidirecţionale la procedeul XY stereosonic : *b*) imagini false ale surselor.

Pentru a evita acest fenomen se vor folosi numai microfoane unidirecţionale, foarte apropiate de sursă, care să capteze în acest mod un nivel mic.

5.3.5. CAPTAREA MUZICII DE OPERĂ DIN STUDIO

Captările muzicii de operă care au grad mare de dificultate se pot face în principiu cu oricare din procedeele de captare, avînd în vedere avantajele şi dezavantajele fiecărui procedeu.

Captarea prin procedeul AB cu cap artificial

Pentru a nu apărea fenomene nedorite se recomandă folosirea unui singur cuplu de microfoane. Caracteristicile scenei sînt în general similare cu cele arătate la muzica simfonică, cu deosebirea că la operă apare şi deplasarea actorilor în scenă, care însă nu trebuie să fie exagerată. Corurile trebuie tratate ca un grup separat de orchestră, redînd o imagine distinctă însă nu exagerată şi avînd grijă ca toate vocile să fie omogene.

În cazul în care nu se obțin rezultate bune cu un singur cuplu de microfoane, se va folosi încă un cuplu de microfoane identice AB apropiat, pentru soliști, avînd grijă ca acesta să nu producă imagini duble în scena imagine. Întrebuințînd procedeul AB cu cap artifical, deși dă rezultate foarte bune, este mai puțin agreată pentru genul de muzică de operă, fiind mai puțin comodă față de procedeul de intensitate care dă rezultate la fel de bune.

Captarea prin procedeul de intensitate XY

Un amplasament pentru captarea unei producții lirice într-un studio prin procedeul XY, experimentat cu rezultate bune, este prezentat în fig. 5.19.

În acest caz se folosesc microfoanele în coincidență cu caracteristica de directivitate unidirecțională. Captarea orchestrei se face printr-un microfon principal *M1* cu axele la el, microfonul *M2* întărește grupa suflătorilor în lemn, microfonul *M3* captează soliștii vocali pe o scenă înălțată în spatele orchestrei, microfnul *M4* captează corul așezat de asemeni pe o estradă laterală. iar microfonul *M5*, amplasat în sală mai departe și înălțat, este un microfon de atmosferă.

Deplasările soliștilor pe scenă sînt redate prin microfonul *M3* și pot fi eventual efectuate și prin panoramare. Dacă se consideră necesar se pot întrebuința două microfoane monofonice *A* și *B* panoramate, introduse direct la canalele A și B pentru a scoate mai bine în relief corzile.

Casa de discuri Electrecord a experimentat cu bune rezultate în sala de festivități a Casei Presei Libere schema de amplasament din fig. 5.20, aplicînd procedeul de intensitate la captările de operă. Schema de captare adoptată a avut în vedere că această sală are o reverberație suficient de mare.

Așa cum rezultă din schemă captarea orchestrei se face cu microfonu stereofonic *M1* cu caracteristică unidirecțională, avînd unghiul axelor 145°

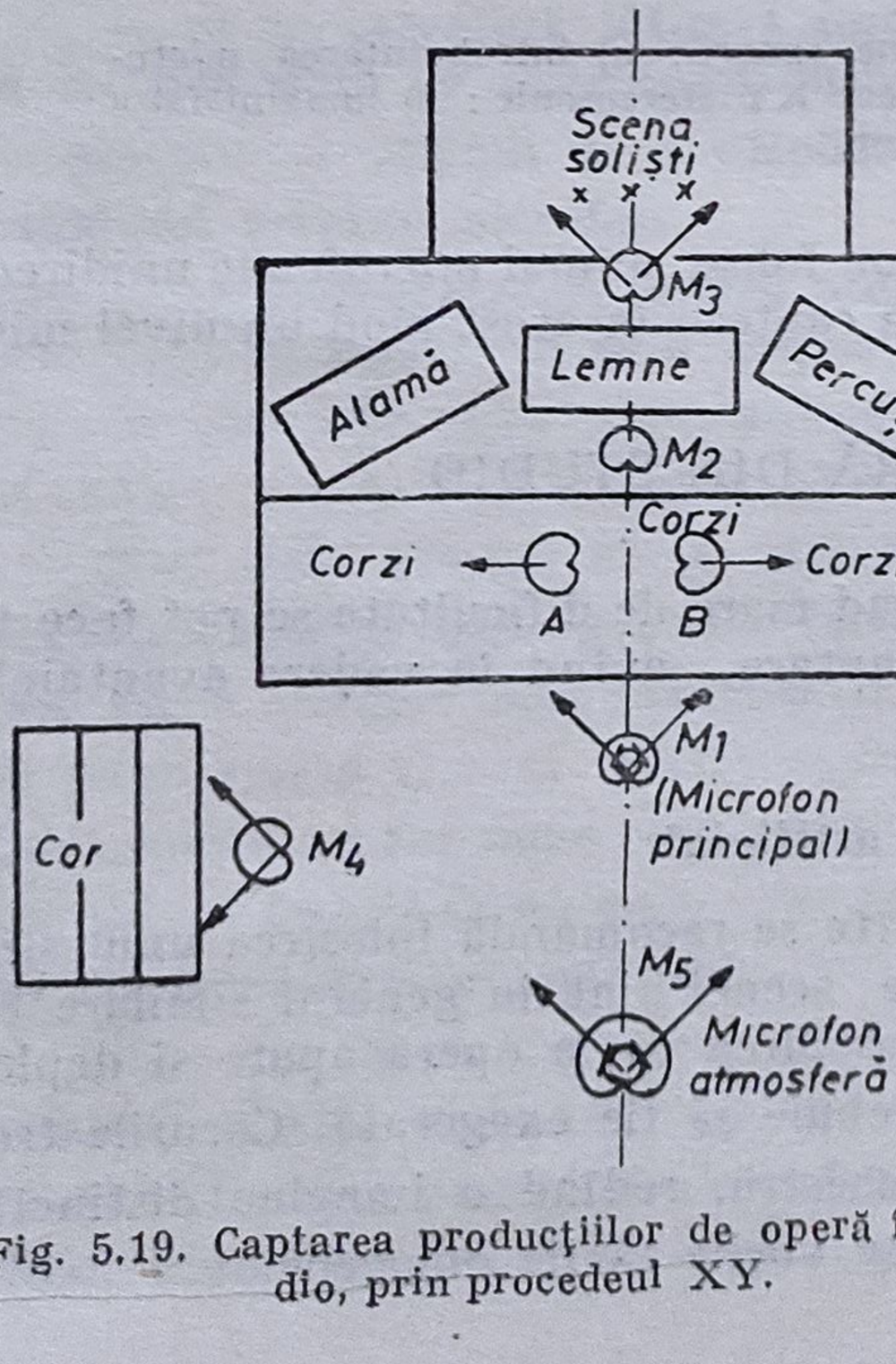


Fig. 5.19. Captarea producţiilor de operă în studio, prin procedeul XY.

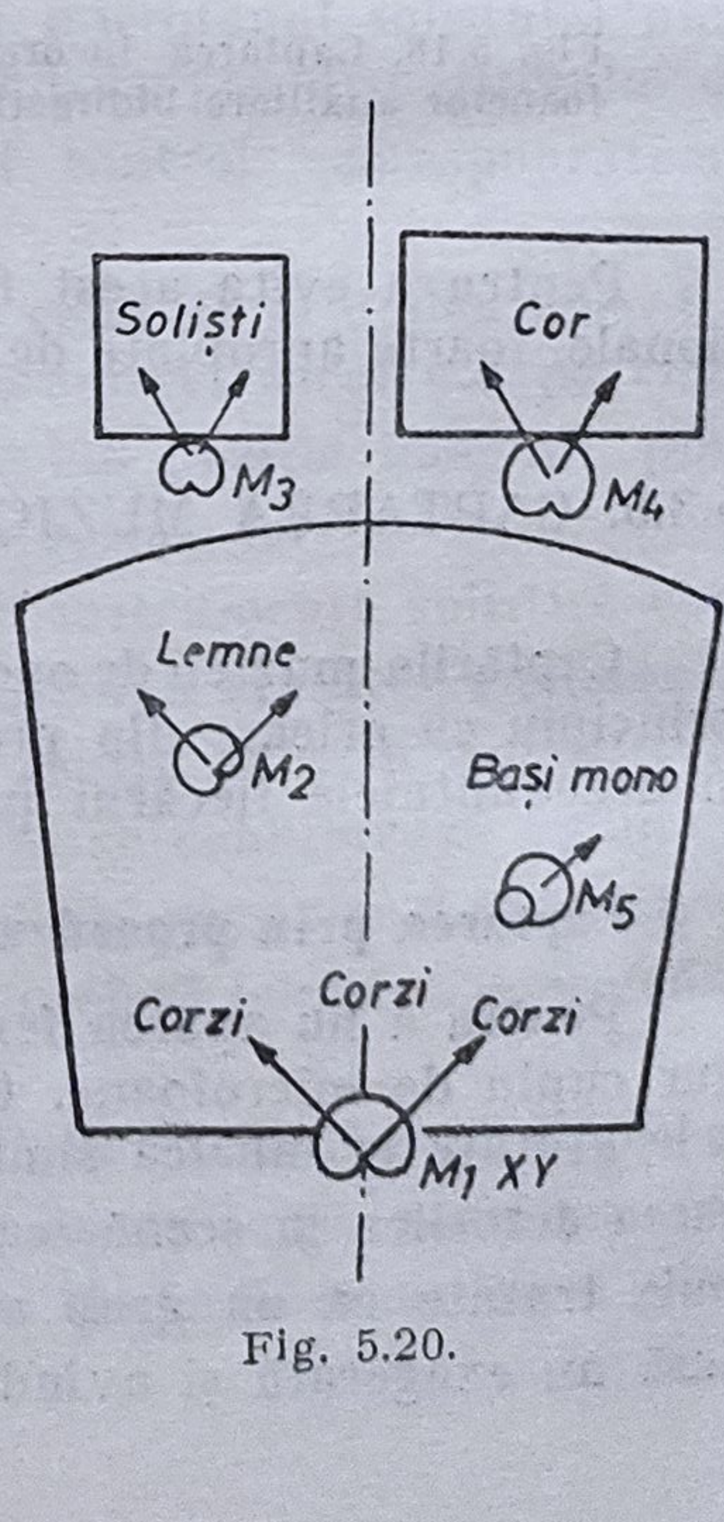


Fig. 5.20.

Grupa suflătorilor în lemn este accentuată cu un microfon stereofonic *M2* cu axele la 90°. Soliștii vocali sînt captați cu microfonul *M3* cu axele la 90° pe o scenă din spatele orchestrei iar corul este captat de alt microfon stereofonic *M4* cu axele la 90°. Microfoanele *M2*, *M3* și *M4* au de asemeni o caracteristică de directivitate unidirecțională.

Sala fiind foarte reverberantă, nu a mai fost necesară amplasarea unui microfon separat pentru atmosferă. Tot din cauza reverberației mari a fost necesar să se atenueze frecvențele grave, folosind un filtru, și de aceea pentru grupa contrabașilor s-a folosit un microfon stereo separat *M5*, cu aceleași caracteristici.

Captarea prin procedeul AB îndepărtat corectat central

O schemă de amplasament pe baza acestui procedeu a fost folosită de casa de discuri HVM pentru înregistrarea operei „Don Giovanni" de Mozart, sub conducerea dirijorului Klemperer (1966) și este reprezentată în fig. 5.21.

Datorită concepției compozitorului, pentru realizarea unor efecte spațiale orchestra a fost scindată în două, existînd o grupare a orchestrei în fundul studioului, pe practicabile. Soliștii și corul, situați pe o scenă în spatele

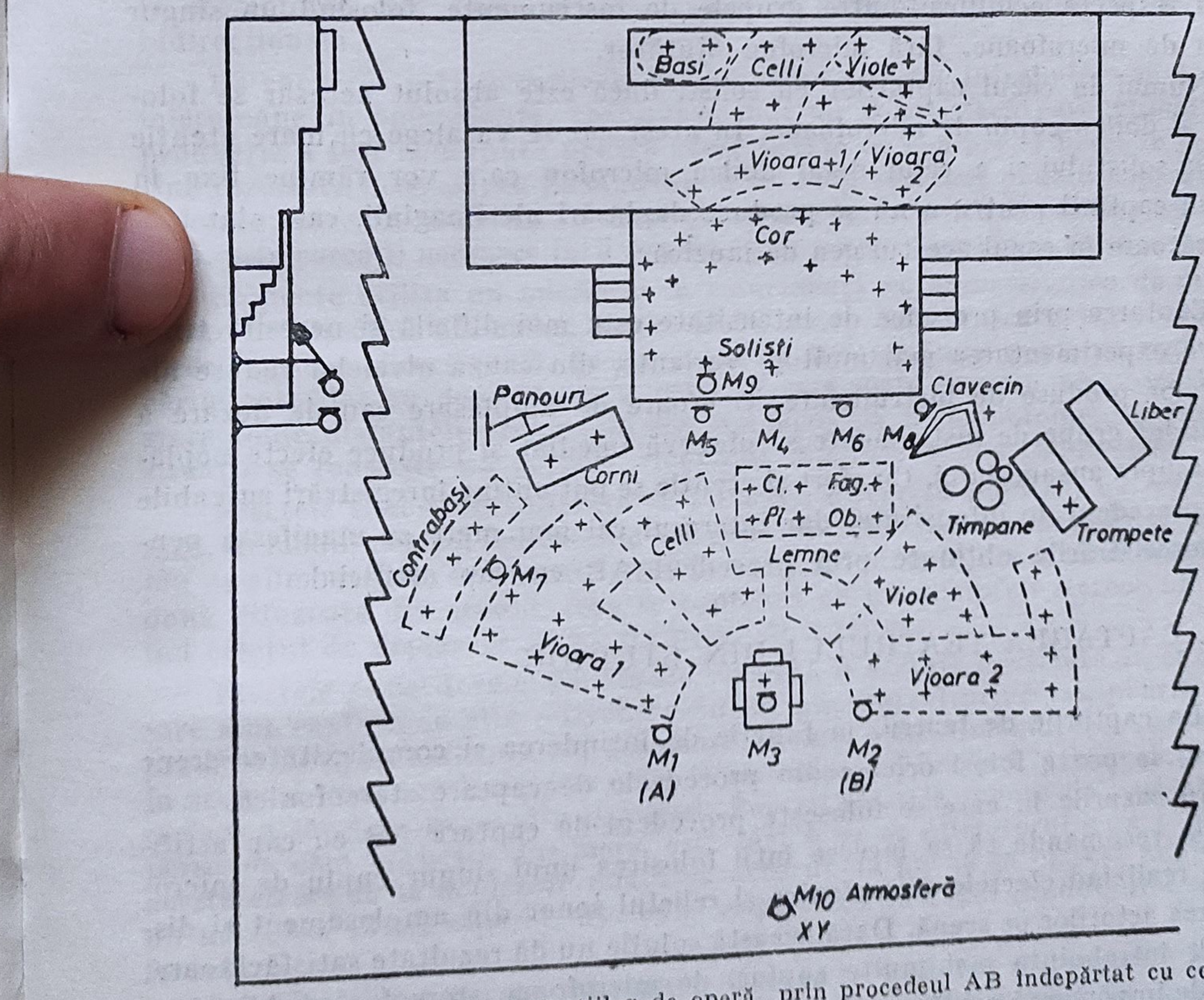


Fig. 5.21. Captarea producțiilor de operă prin procedeul AB îndepărtat cu corecție centală.

orchestrei principale, sînt captați cu microfoane stereofonice XY sau microfoane monofonice panoramate (*M4*, *M5*, *M6*). Orchestra este așezată direct pe podeaua studioului, cu excepția corurilor și a trompetelor, care au cîte o estradă. În spatele și într-o parte a corurilor sînt așezate panouri absorbante. Clavecinul are un microfon separat (*M8*) la fel ca și grupa contrabașilor (*M7*).

Se remarcă distribuția logică a instrumentelor (păstrîndu-se anumite spații de separare între grupe).

Plasarea viorii a doua în dreapta dirijorului a fost cerută de dirijor, dar este compensată prin amplasarea microfonului *M2*.

5.3.6. CAPTAREA MUZICII DE CAMERĂ (ȘI SOLO + ACOMPANIAMENT)

În principiu se vor aplica schemele de amplasament care dau rezultate pentru muzica simfonică de amploare mai restrînsă, încercînd a reda cît mai fidel caracterul intim al lucărilor de acest gen (volum total mai redus, ambianța trebuie să intervină mai puțin, imaginile surselor trebuie să fie mai precise, mai prezente).

Cînd se folosește procedeul AB cu cap artificial sau panouri difractante se va respecta echilibrul între grupele de instrumente, folosind un singur cuplu de microfoane, fără microfon ajutător.

Numai în cazul captărilor cu solist, dacă este absolut necesar se folosește al doilea cuplu de microfoane. În acest caz se va alege cu mare atenție poziția solistului și a celui de-al doilea microfon care vor rămîne fixe în timpul captării pentru a nu se produce deplasări ale imaginii, care sînt mai supărătoare în cazul acestui gen de muzică.

Captarea prin procedee de intensitate este mai dificilă și necesită timp pentru experimentarea mai multor variante, din cauza nivelelor reduse ale sunetelor produse de instrumente. O eroare de amplasare sau de dozare a diferitelor grupe de instrumente se observă imediat și produce efecte neplăcute asupra ansamblului. Cu efort și atenție se pot obține înregistrări agreabile prin procedeul de intensitate, dar interesul cel mai mare se manifestă pentru înregistrările obținute prin procedeul AB cu cap artificial.

5.3.7. CAPTAREA TEATRULUI DIN STUDIOU

La captările de teatru, în funcție de întinderea și complexitatea scene sonore, se poate folosi oricare din procedeele de captare stereofonică.

În cazurile în care se folosește procedeul de captare AB cu cap artificial, se recomandă să se încerce întîi folosirea unui singur cuplu de microfoane realizînd efectele stereofonice și relieful sonor din amplasament și dispunerea actorilor pe scenă. Dacă această soluție nu dă rezultate satisfăcătoare, se pot întrebuința mai multe cupluri de microfoane stereofonice AB identice, de importanță egală.

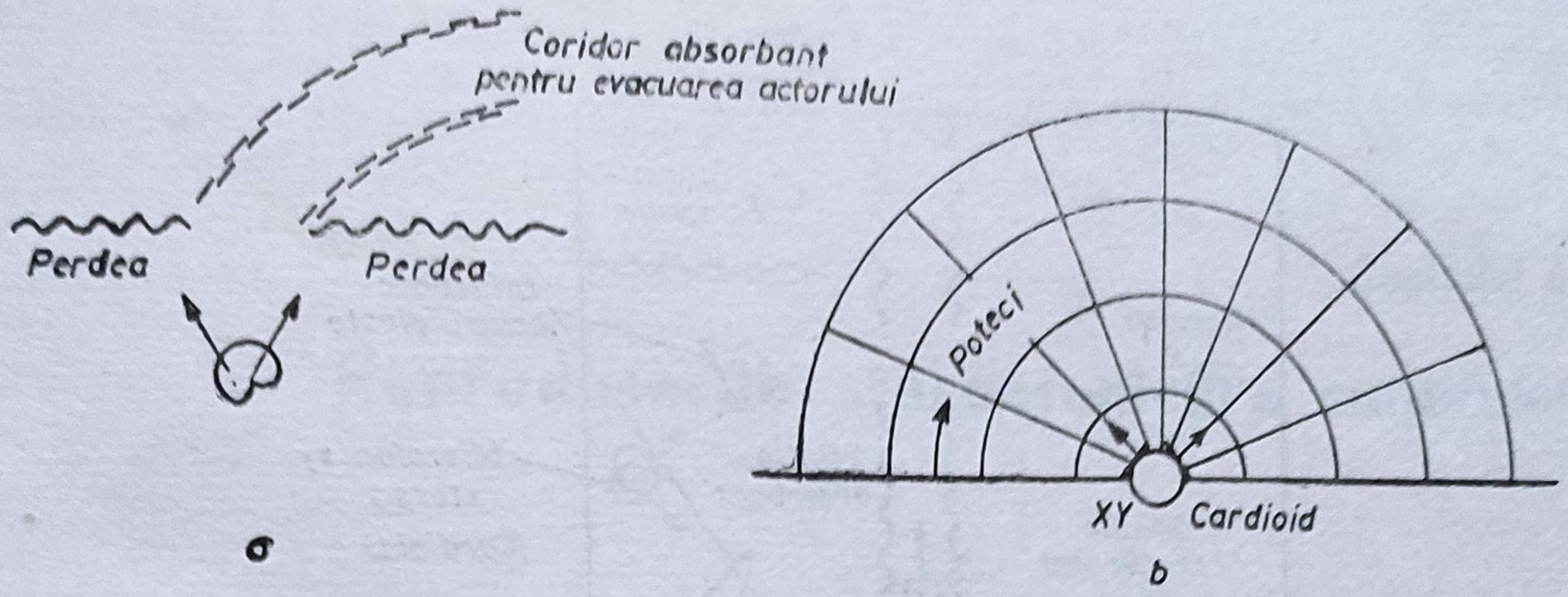


Fig. 5.22. Captarea efectelor în teatrul radiofonic (experimentat la BBC).

Exte important de reţinut că atît pentru teatrul de varietăţi cît şi pentru teatrul radiofonic sau clasic nu se pune problema compatibilităţii, deoarece tehnica de captare a sunetului este total diferită în sistemul monofonic faţă de cel stereofonic, numărul şi poziţiile microfoanelor diferă, ca şi ambianţele şi poziţiile ecranelor de separare. Zonele de reverberaţie sau de amortizare ale studioului şi deplasările actorilor trebuie redate mai exagerat în sistemul monofonic, pentru a crea anumite impresii sonore, în vreme ce în stereofonie este suficientă atmosfera şi perspectiva creată de percepţia bidirecţională.

La captarea prin procedeele de intensitate se pot întrebuinţa mai multe microfoane în coincidenţă, rezultatele putînd fi satisfăcătoare numai dacă producţia a fost concepută pentru acest sistem de captare. Uneori se pot obţine rezultate interesante plecînd de la un amplasament pentru captare monofonică, care se modifică în mod corespunzător pentru o captare stereofonică, prin corecţii necesare întîi în concepţie şi apoi în metoda de captare.

Se poate utiliza un microfon în coincidenţă cu caracteristica de directivitate unidirecţională, cu un unghi de 90° între axe, sau cu caracteristică de directivitate bidirecţională, cu un unghi de 60° între axe, pentru a regla mişcările actorilor cu deplasări mai mari ca cele reale. Pentru acest motiv, în stereofonie distanţele trebuie să fie mai mari ca în monofonie. În anumite situaţii se foloseşte un coridor amenajat din ecrane absorbante (fig. 5.22).

Efectele sonore înregistrate se introduc direct în pupitrul de regie tehnică, în modul normal stereofonic sau panoramate. Cînd este necesar, de exemplu se alimentează, cu sunetul unei înregistrări monofonice a unui automobil două difuzoare din studio, care se captează cu un microfon stereofonic, creînd efectul de deplasare în spaţiu prin panoramare.

Efectele punctiforme din studio necesită o atenţie deosebită în cazul în care sînt captate cu alte microfoane decît microfonul principal, pentru a nu produce imagini multiple. În asemenea cazuri, aceste imagini trebuie plasate în aceleaşi locuri cu imaginile date de microfonul principal, prin metodele de reglare a lărgimii bazei şi a direcţiei. Pentru efectele sonore de paşi ai unei persoane care vorbeşte din mers, este mai bine ca operatorul care captează aceste efecte să se deplaseze odată cu actorul, în loc să se plaseze actorul la un microfon situat separat, aşa cum se practică în cazul producţiilor monofonice.

Reverberaţia joacă un rol mult mai mare în captarea stereofonică a producţiilor dramatice, şi echipamentul trebuie să permită posibilităţi multiple

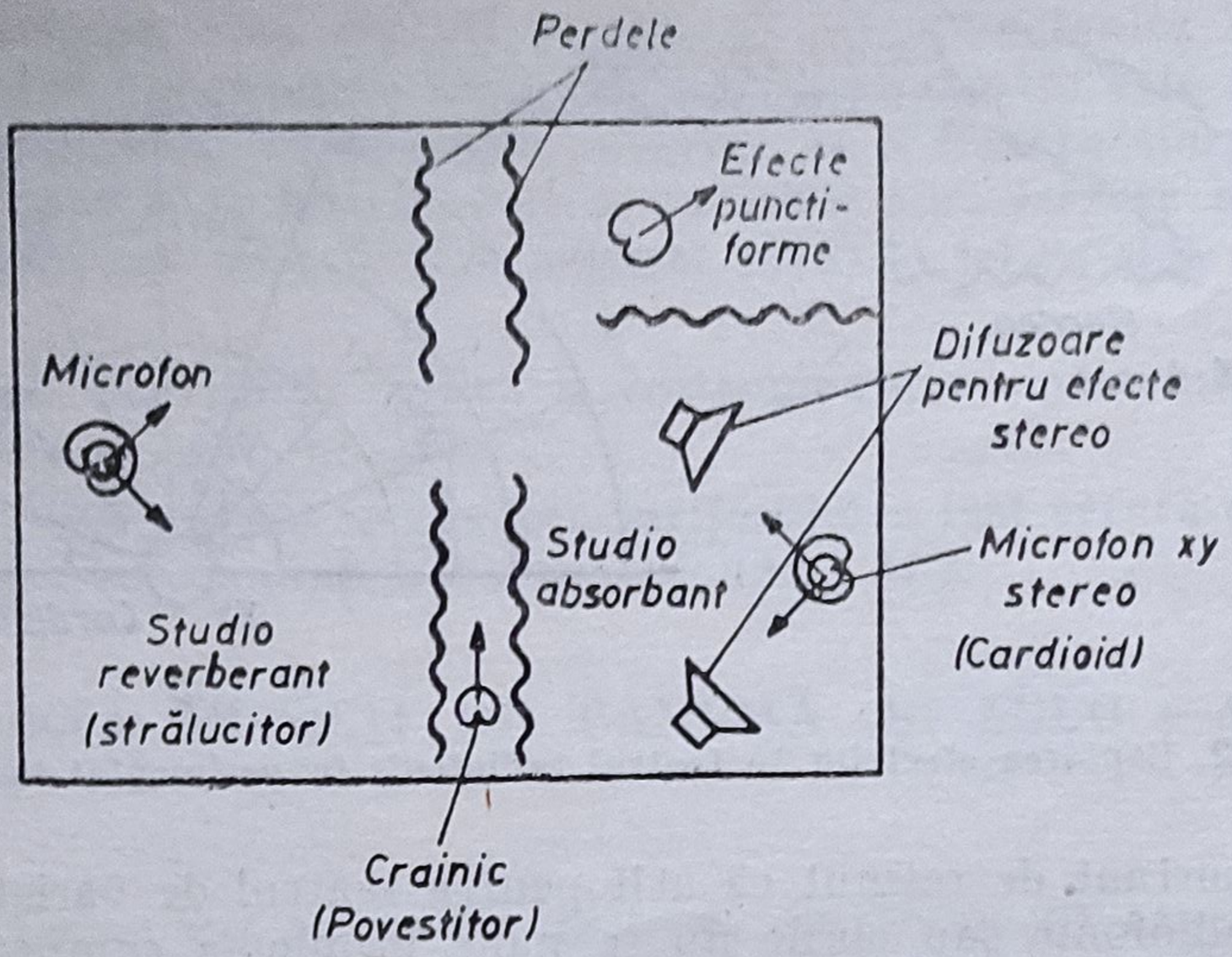


Fig. 5.23. Captarea teatrului radiofonic stereo (amplasament experimentat la BBC).

de utilizare. În fig. 5.23 se reprezintă o schemă de amplasament pentru captările teatrului radiofonic stereo experimentată de studiourile BBC.

5.3.8. CAPTAREA SPECTACOLELOR DE OPERĂ ȘI TEATRU CU PUBLIC

Captarea spectacolelor de operă și teatru cu public este mult mai dificilă și pune numeroase probleme de amplasament și de experimentări realizate în timpul repetițiilor și chiar a reprezentațiilor cu public.

Se recomandă fie procedeul AB cu cap artificial fie procedee de intensitate folosind de regulă un singur cuplu de microfoane, iar atunci cînd este necesar se mai pot introduce microfoane monofonice panoramate. În aceste situații nu se pot da rețete sau scheme concrete deoarece situațiile sînt foarte diferite de la un caz la altul, diferind în primul rînd caracteristicile acustice ale sălilor. În plus este foarte importantă concepția regizorului, care are în vedere în primul rînd satisfacerea cerințelor și gustului publicului din sala de spectacol. De aceea, acest gen de captare nu are de obicei calitatea necesară pentru înregistrările pe disc sau pentru fondul de înregistrări al unei fonoteci a radioului.

Captările făcute din spectacolele cu public sînt destinate de obicei transmisiilor sau înregistrărilor de radiodifuziune și televiziune cu caracter documentar sau de actualizare. De aceea, acestui mod de captare stereofonică a sunetului nu i se acordă mare importanță, și nici nu se pierde foarte mult timp pentru alegerea unui amplasament.

Capitolul 6

Reproducerea stereofonică a sunetului

Reproducerea stereofonică a sunetului reprezintă o etapă importantă a procesului tehnologic deoarece mijlocește aprecierea imaginii sonore în toate fazele de realizare a captării, înregistrării și transmisiei stereofonice. De asemeni, reproducerea stereofonică realizează dezideratul fundamental al stereofoniei, de a asigura în alt loc și la un alt moment audiția unui program muzical sau vorbit prin intermediul mijloacelor tehnice actuale în condiții similare cu cele ale locului de producție.

Calitatea reproducerii stereofonice depinde de geometria și modul de amplasare a dispozitivului de ascultare și de spațiile în care se face audiția stereofonică. În capitolul 3 s-au arătat posibilitățile de localizare a imaginii sursei date de două difuzoare și influența poziției ascultătorului față de axa de simetrie a dispozitivului de ascultare. În continuare vor fi prezentate mai pe larg procedeele de reproducere stereofonică a sunetului pe două canale și procedee de îmbunătățire a reproducerilor stereofonice cu două canale prin folosirea unui al treilea canal.

De asemenea se vor prezenta soluții care asigură reproducerea stereofonică în spații închise și în aer liber.

6.1. REPRODUCEREA STEREOFONICĂ A SUNETULUI, CU DOUĂ CANALE

Cel mai simplu procedeu de reproducere stereofonică foloseşte două canale de amplificare independente şi două dispozitive de ascultare corespunzătoare acestor canale, dînd posibilitatea ascultătorului să perceapă sursele de sunet fictive desfăşurate atît lateral, cît şi în adîncime. Factorii care permit localizarea corectă la reproducere a surselor de sunet fictive sînt faza şi intensitatea fronturilor de undă sonoră ajunse la ascultător (vezi § 3.3).

Aşa cum s-a mai arătat, se observă că atunci cînd intensităţile şi fazele sunetelor emise de cele două difuzoare sînt identice, sursa poate fi situată la mijlocul distanţei dintre ele. Dacă intensitatea sunetelor pe care le percepe ascultătorul de la fiecare difuzor rămîne aceeaşi, însă este variată faza unei tensiuni de ieşire (de exemplu cea corespunzătoare difuzorului *A*) atunci imaginea obţinută se deplasează spre difuzorul *A* sau *B*, în funcţie de sensul de modificare al fazei. De asemenea, se obţine o modificare a poziţiei sursei fictive de sunet şi în cazul în care se menţine faza egală la cele două difuzoare

și se variază numai intensitatea sonoră a unuia dintre acestea. O micșorare a intensității sonore date de difuzorul A va muta imaginea spre difuzorul B. Deci, gradînd intensitatea sau faza semnalelor electrice ale celor două canale, se pot distribui sursele sonore în intervalul de la mijlocul distanței dintre difuzoare pînă la unul dintre ele.

Senzația de adîncime este determinată, în cazul redărilor stereofonice, de mai mulți factori, printre care : faza fronturilor de undă sonoră sosite de la două surse distanțate în adîncime, intensitatea lor, caracteristica de frecvență a surselor sonore, reverberația încăperii. Un factor care influențează de asemenea redarea stereofonică este caracteristica de frecvență. Experimentele efectuate au dus la concluzia că este necesară reproducerea tuturor componentelor de audiofrecvență.

Gama de frecvențe limitată are efect nefavorabil asupra realizării impresiei de spațialitate și de distanță a imaginii stereofonice.

Condițiile pentru obținerea unei redări stereofonice optime sînt dependente de condițiile de înregistrare, existînd o influență a unora asupra celorlalte. Între distanța dintre difuzoare, denumită *bază de redare*, și distanța dintre microfoane, denumită *bază de înregistrare*, există o anumită relație care condiționează o transmisie stereofonică de calitate. De asemenea, s-a constatat experimental că o bază de redare mult mai mare decît baza de înregistrare reduce foarte mult impresia de situare la centru a imaginii sursei.

Rezultă necesitatea micșorării bazei de redare la o valoare apropiată de aceea a bazei de înregistrare. Astfel pentru procedeul AB cu microfoane distanțate, s-a stabilit o formulă (6.1) care arată dependența dintre baza de înregistrare (în cm) și unghiul sub care se vede baza de redare (în grade) și care se aplică în practica înregistrării sterefonice :

$$2a_1 \cdot 2\alpha' = 6000 \qquad (6.1)$$

în care a_1 este distanța dintre microfon și axa de simetrie a microfoanelor iar α' unghiul dintre axa de simetrie a difuzoarelor și direcția sub care se vede un difuzor (fig. 6.1, *a*).

Această relație a fost stabilită de De Boer. Pentru o distanță între difuzoare egală cu $2a_2$ se vede, în fig 6.1, *b*, modul de variație a poziției sursei de sunet fictive în funcție de unghiul γ determinat de axa de simetrie a microfoanelor și de direcția în care se vede sursa din axa microfoanelor, parametrul fiind distanța dintre microfoane : $2a_1 = 20$ cm ; 40 cm ; 80 cm; 120 cm (fig. 6.1, *c*).

Cunoașterea interdependenței dintre baza de înregistrare și cea de redare nu este totuși suficientă pentru îndepărtarea inconvenientelor ce apar în cazul procedeului de înregistrare AB. Aceste inconveniente, cum ar fi senzația de lateralitate pronunțată (imaginea sonoră trece brusc dintr-o parte într-alta) și senzația de „retragere“ a sursei sonore fictive, aduc prejudicii calității unor astfel de înregistrări stereofonice.

Specialiștii sovietici I. S. Vahitov și V. S. Mankovski au studiat aceste fenomene, indicînd și metodele de înlăturare a acestora. Studiul întreprins în acest scop a permis stabilirea unor relații matematice care condiționează variația parametrilor de la redare în funcție de cei de la înregistrare. Respectarea acestor condiții asigură obținerea unor imagini ale surselor de sunet care

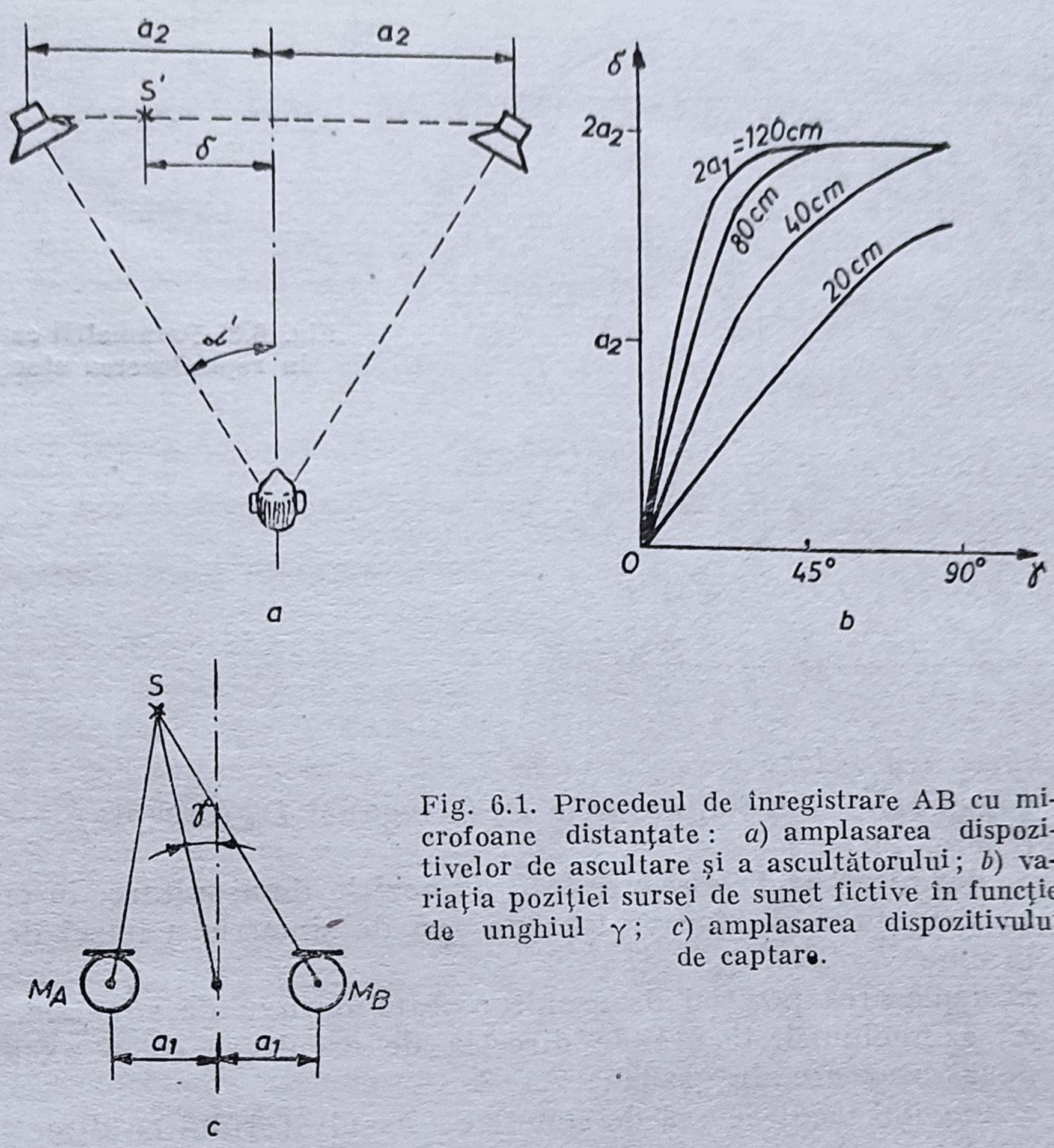


Fig. 6.1. Procedeul de înregistrare AB cu microfoane distanțate: *a*) amplasarea dispozitivelor de ascultare și a ascultătorului; *b*) variația poziției sursei de sunet fictive în funcție de unghiul γ; *c*) amplasarea dispozitivului de captare.

să corespundă atît ca poziție cît și ca deplasare cu cele din realitate. Parametrii care intervin la înregistrare sînt indicați în fig. 6.2 iar cei de la redare în fig. 6.3. Ei sînt următorii:

Parametrii la înregistrare

— $2a_1$ distanța între microfoanele M_s (stînga) și M_d (dreapta) — baza de înregistrare, în cm;
— b_1 distanța sursei față de baza de înregistrare, în cm;
— x_1 distanța sursei față de axa de simetrie a bazei, în cm;
— γ unghiul făcut de direcția sursei cu axa de simetrie a bazei, în cm.

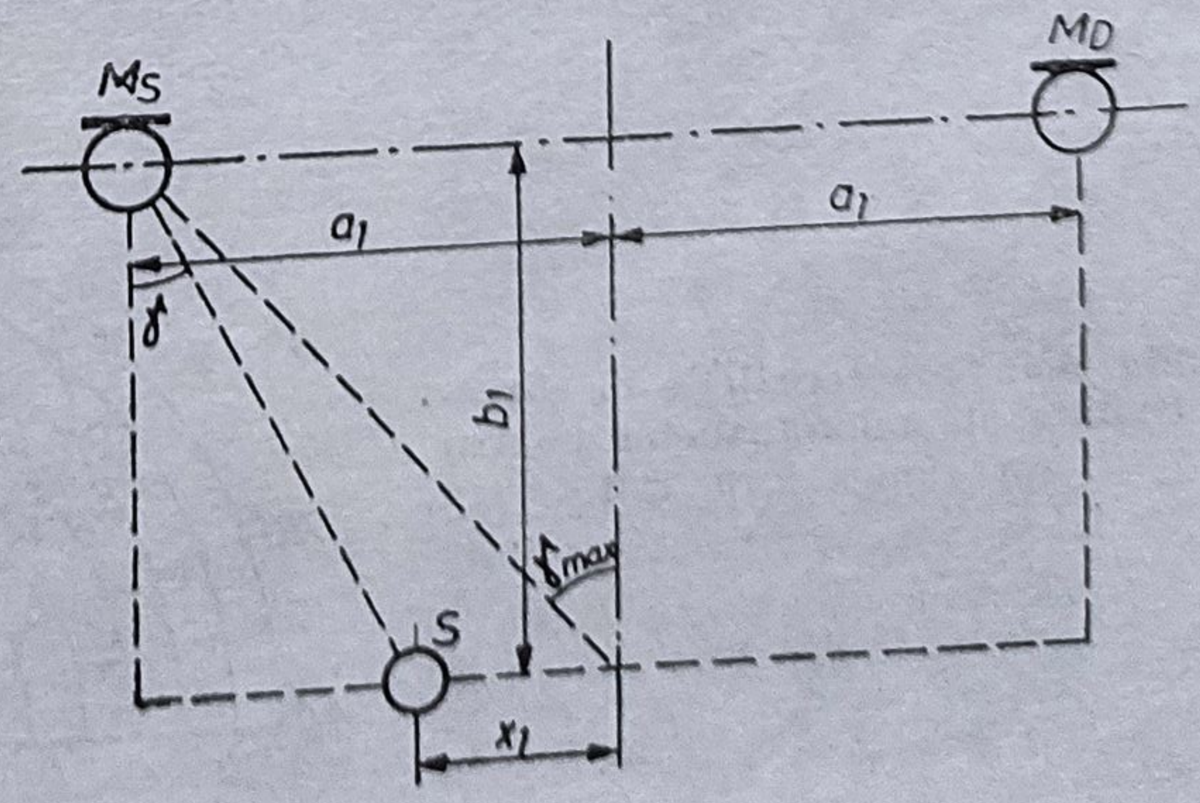


Fig. 6.2. Parametrii care intervin la înregistrarea stereofonică.

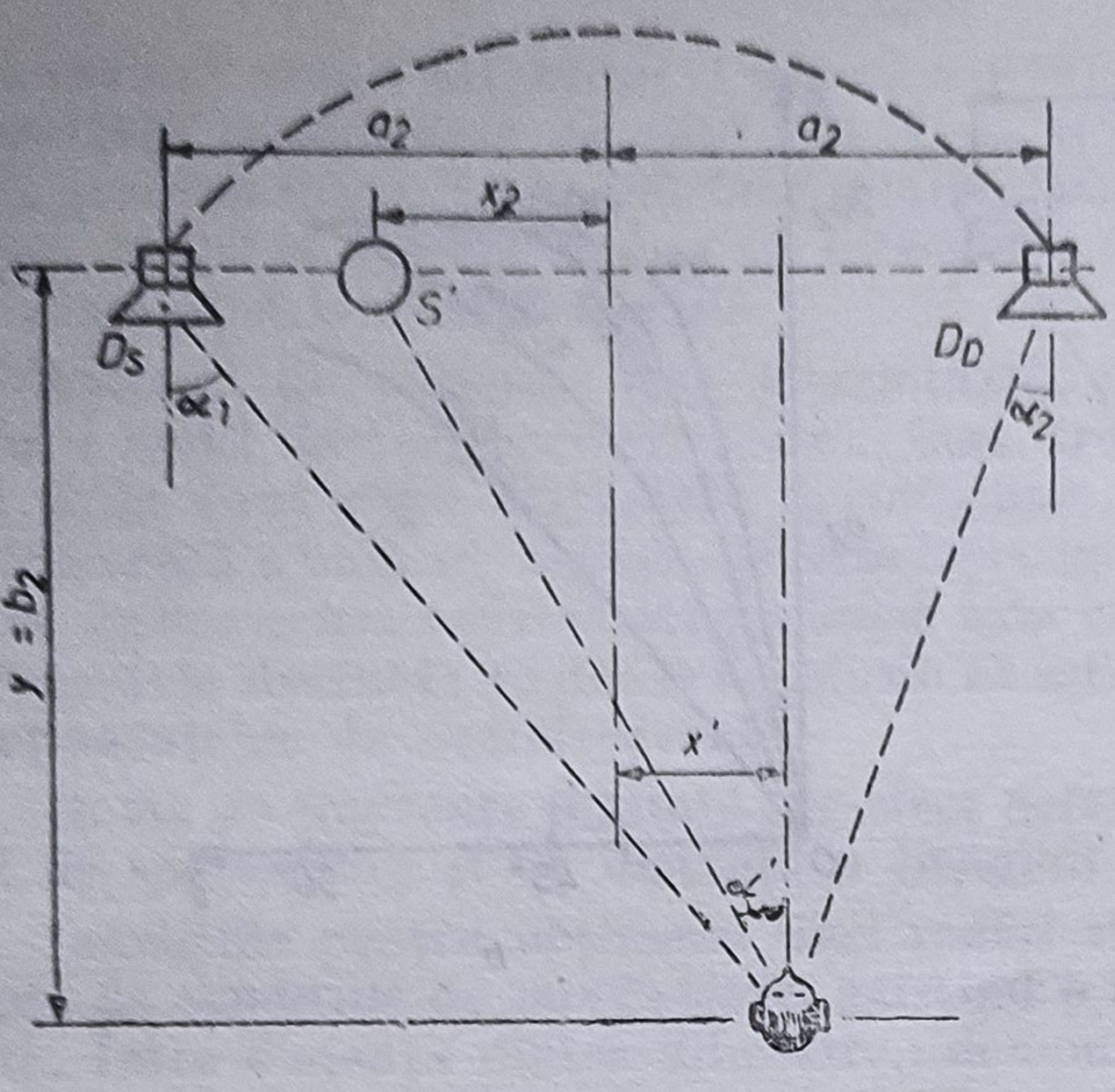


Fig. 6.3. Parametrii care intervin la reproducerea stereofonică.

Parametrii la redare

- $2a_2$ distanța între difuzoarele D_s (stînga) și D_d (dreapta) — baza de redare, în cm ;
- b_2 distanța bazei de redare față de poziția de ascultare, în cm ;
- x_2 distanța sursei fictive față de axa de simetrie a bazei de redare, în cm ;
- x' deplasarea poziției de ascultare față de axa de simetrie, în cm ;
- α_1, α_2 unghiurile făcute de direcția de ascultare cu a axelor celor două difuzoare, în grade ;
- α' unghiul făcut de axa de simetrie a ascultătorului cu direcția sursei fictive.

Rezultatele studiului s-au concretizat în stabilirea formei optime pentru caracteristicile de directivitate ale microfoanelor, astfel încît să fie reduse la minim efectele neplăcute de lateralitate și retragere a surselor de sunet imaginare.

Aceste caracteristici de directivitate sînt arătate în fig. 6.4 pentru rapoarte $\frac{a_1}{b_1} < 1$ iar în fig. 6.5 pentru rapoarte $\frac{a_1}{b_1} > 1$. În fig. 6.4 și fig. 6.5 sînt trasate punctat (pentru a putea fi comparate) și caracteristicile de directivitate în formă de opt și cele în formă de cardioidă. Se observă că nici una dintre acestea nu coincide cu rezultatul din calcul, doar cea în formă de opt se

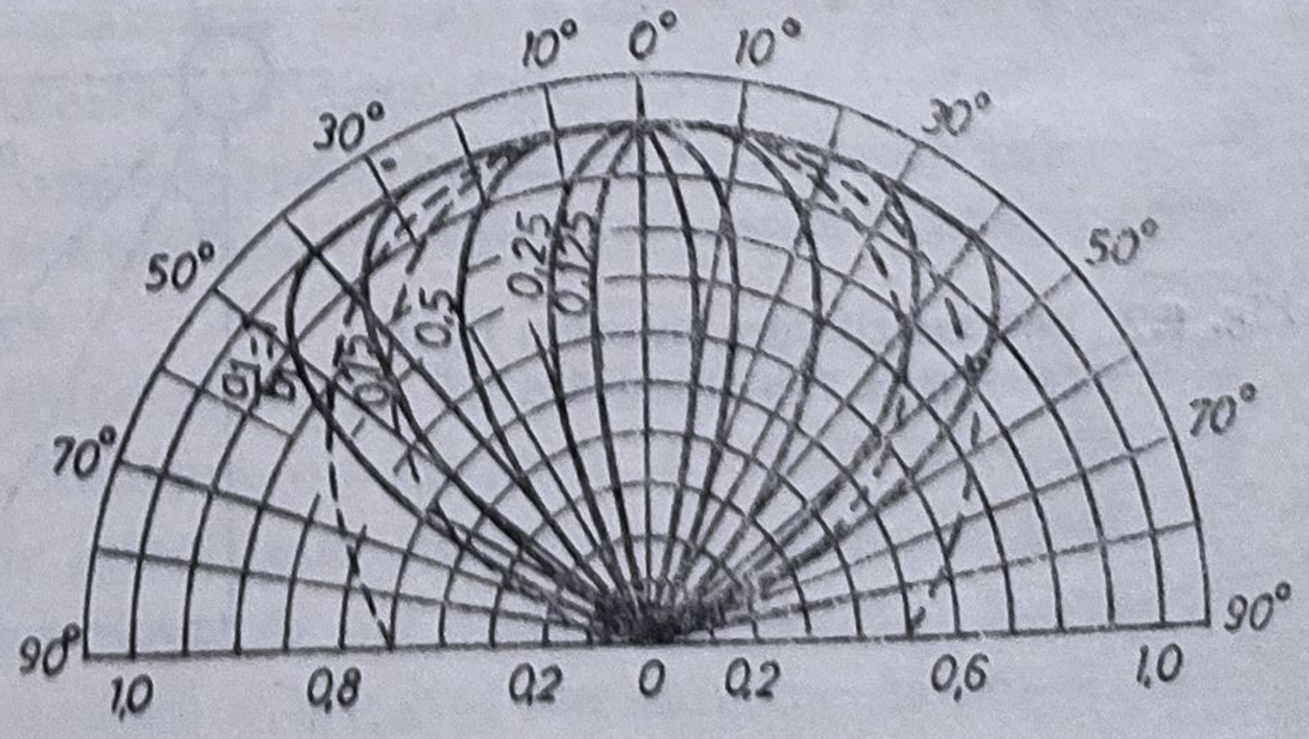


Fig. 6.4. Caracteristicile de directivitate ale microfoanelor pentru un raport $a_1/b_1 \leqslant 1$.

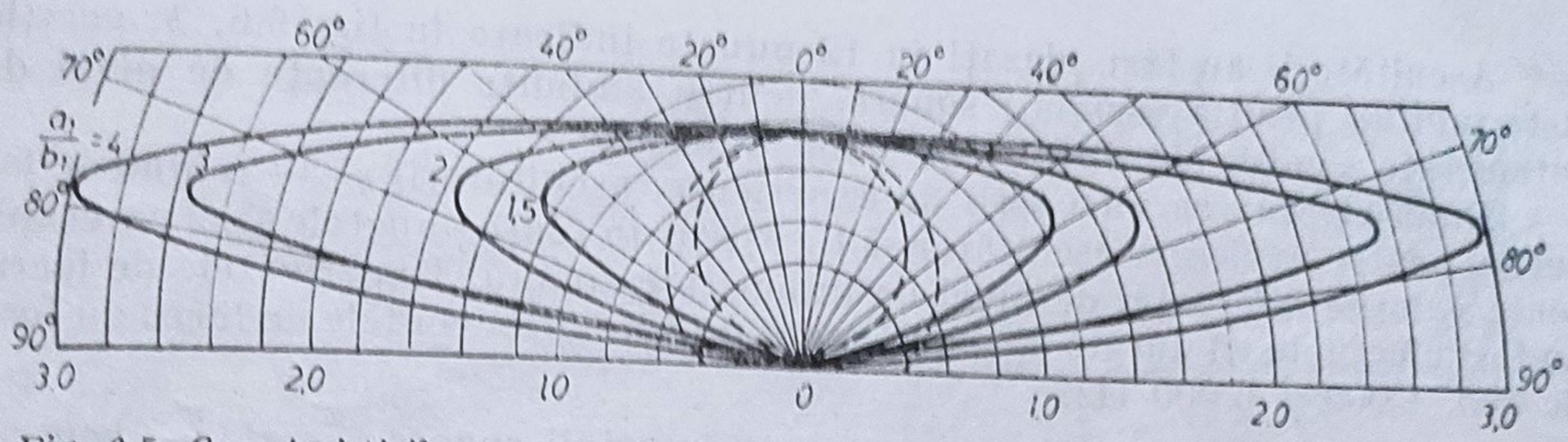


Fig. 6.5. Caracteristicile de directivitate ale microfoanelor pentru un raport $a_1/b_1 > 1$.

aseamănă într-o oarecare măsură cu caracteristicile de directivitate necesare, și anume pentru un raport $\frac{a_1}{b_1} = 0{,}75$. Deci se pot obține rezultate mai bune dacă se vor folosi microfoane cu caracteristică de directivitate în formă de opt.

În cele ce urmează se analizează felul în care este percepută poziția imaginii sonore pentru sistemul pe două canale. Ținînd seama că există o corespondență între diferența de nivel a intensităților sonore ale celor două difuzoare și poziția imaginii sonore, s-a căutat să se stabilească o relație între aceste două mărimi pentru fiecare poziție a ascultătorului. Dispozitivul utilizat pentru experimentare este arătat în fig. 6.6, *a*, în care :

a) schema instalației pentru exprimarea dependenței, dintre diferența de nivel a canalelor și poziția imaginii stereofonice : *1* — generator, *2* — întrerupător mecanic cu o frecvență de 2—3 întreruperi pe secundă, *3* — voltmetru electronic ;

b) determinarea poziției imaginii stereofonice de către observatorii plasați între cele două difuzoare.

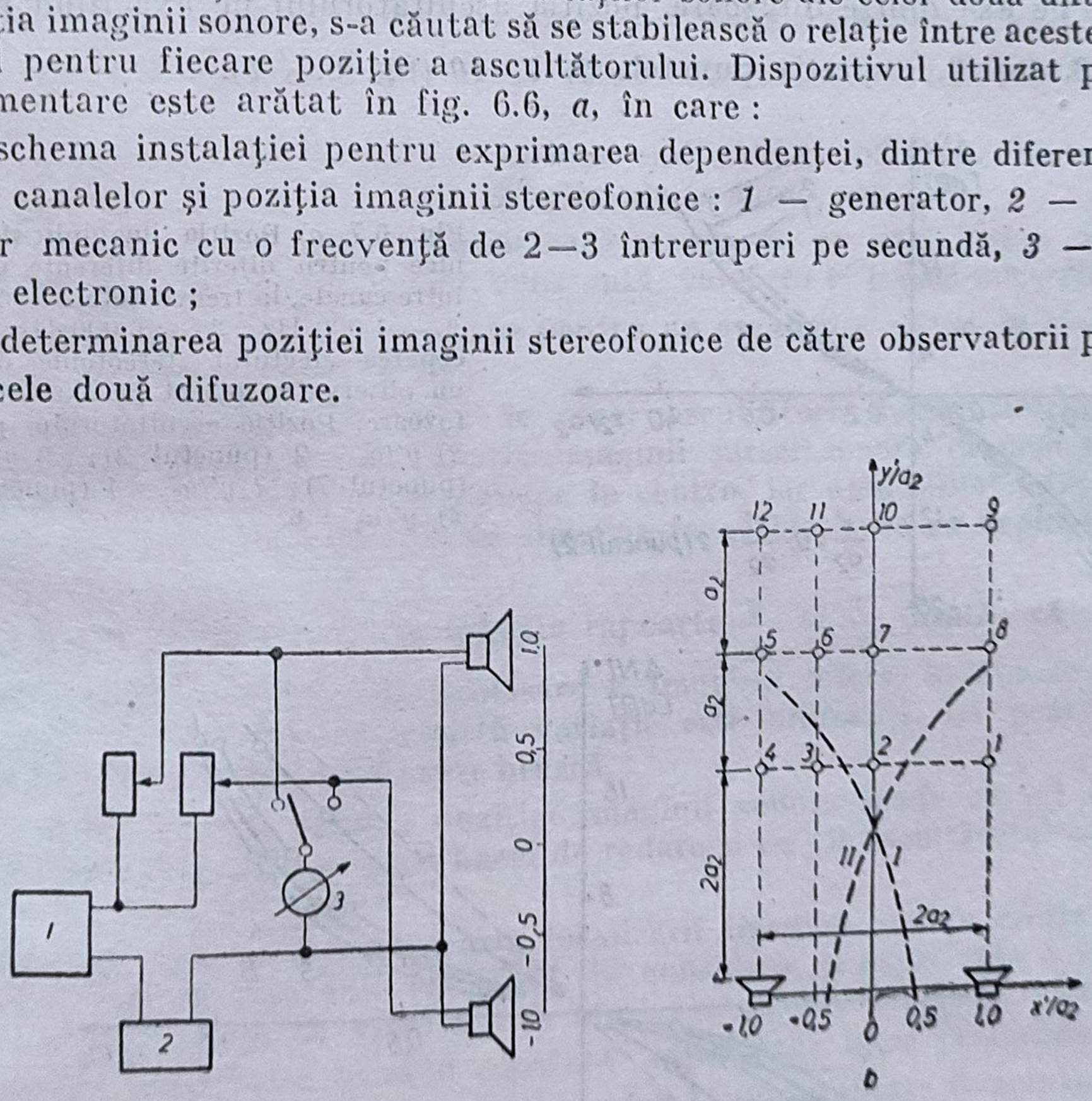


Fig. 6.6. Dependența dintre diferența de nivel a canalelor și poziția imaginii stereofonice (distanța între difuzoare — 6 m) : *a*) schema instalației pentru exprimarea dependenței dintre diferența de nivel a canalelor și poziția imaginii stereofonice : *1* — generator ; *2* — întrerupător mecanic cu o frecvență a întreruperilor de 2—3 secundă ; *3* — voltmetru electronic ; *b*) determinarea poziției imaginii stereofonice de către observatori plasați între cele două difuzoare.

Ascultătorii au fost plasaţi în 12 puncte indicate în fig. 6.6, *b*, aceştia determinînd poziţia imaginii sonore, pentru anumite diferenţe de nivel de intensitate sonoră *NI* dintre cele două difuzoare.

După efectuarea unei serii de experienţe, ascultătorii şi-au schimbat locurile, pentru ca fiecare ascultător să fie aşezat în toate punctele şi să perceapă toate valorile diferenţei de nivel de intensitate sonoră. Experienţele de lucru au fost efectuate cu durate de reverberaţii diferite. Frecvenţele de lucru au fost de 200, 1 000 şi 6 000 Hz.

Adoptînd notaţiile $\frac{x_2}{a_2}$ pentru poziţia imaginii sonore, $\frac{x'}{a_2}$ şi $\frac{y'}{a_2}$ pentru poziţia ascultătorului (vezi fig. 6.3) se observă, că, la $\frac{x'}{a_2} = 0$ şi $\frac{y'}{a_2} = 2$ corespunde punctul *2* de ascultare iar rezultatele din fig. 6.7, *a* diferă puţin între ele, în funcţie de frecvenţă. De aceea experimentările s-au făcut numai la frecvenţa de 1 000 Hz. Caracteristicile de directivitate ale difuzoarelor în punctele cele mai îndepărtate fiind diferite, s-a considerat că o abatere de aproximativ 2—3 dB nu va modifica prea mult rezultatele. Se pot trasa şi curbele care arată poziţia imaginii sonore percepute de către un observator plasat pe axa dintre difuzoare, poziţia ascultătorului pe axă fiind la $\frac{y'}{a_2} =$ $= 2$, 3, 4 şi 6, respectiv punctele *2*, *7*, *10* (fig. 6.7, *b*).

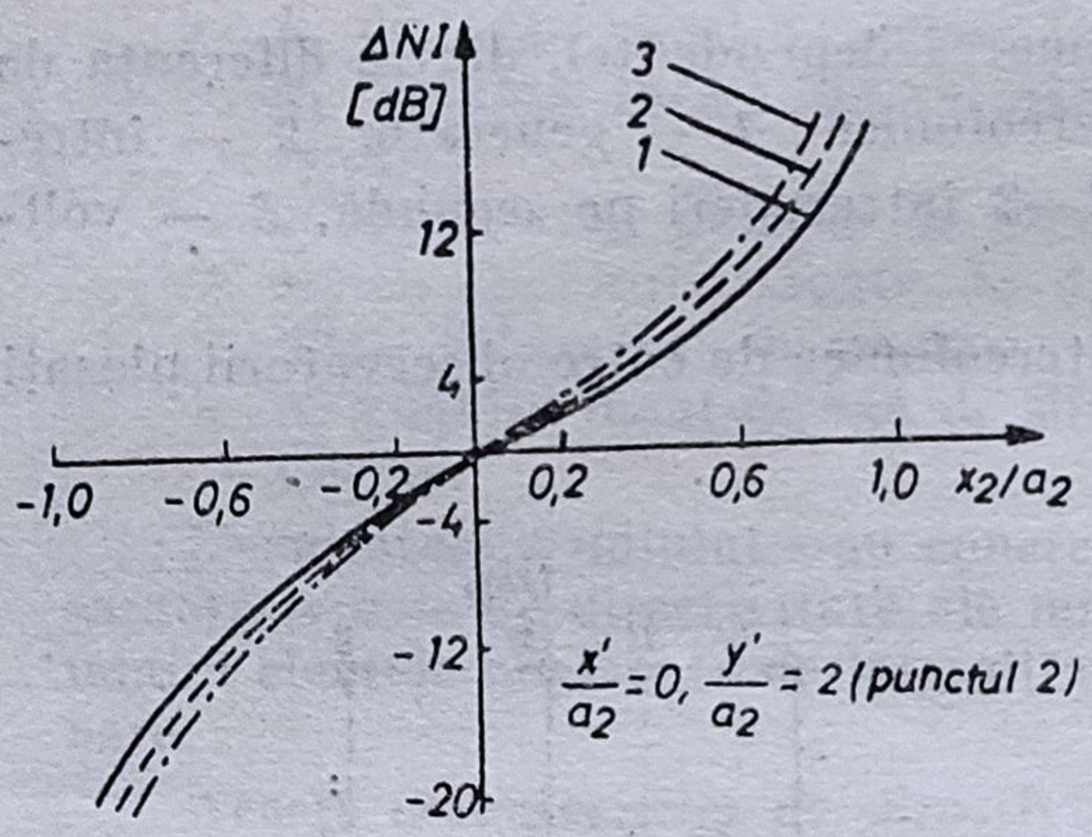
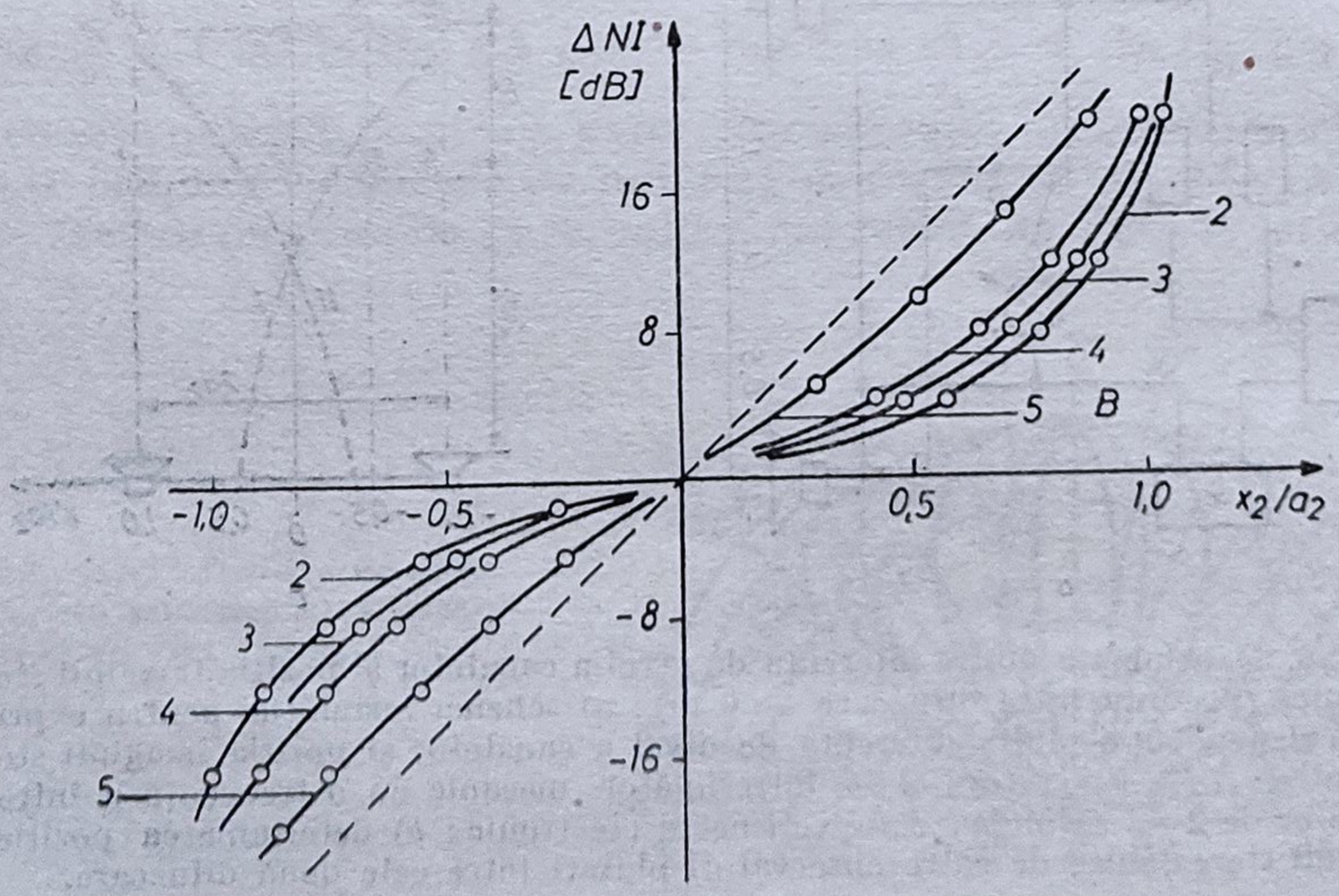


Fig. 6.7. *a*) Poziţia imaginii sterefonice pentru diferite diferenţe de nivel între canale, la frecvenţele *1* — 200 Hz; *2* — 1 000 Hz; *3* — 6 000 Hz; *b*) Perceperea efectului stereofonic de către un observator plasat pe axa dintre difuzoare. Poziţia ascultătorului pe axă: *2*) $y'/a_2 = 2$ (punctul 2); *3*) $y'/a_2 = 3$ (punctul 7); *4* $y'/a_2 = 4$ (punctul 10); *5*) $y'/a_2 = 6$.



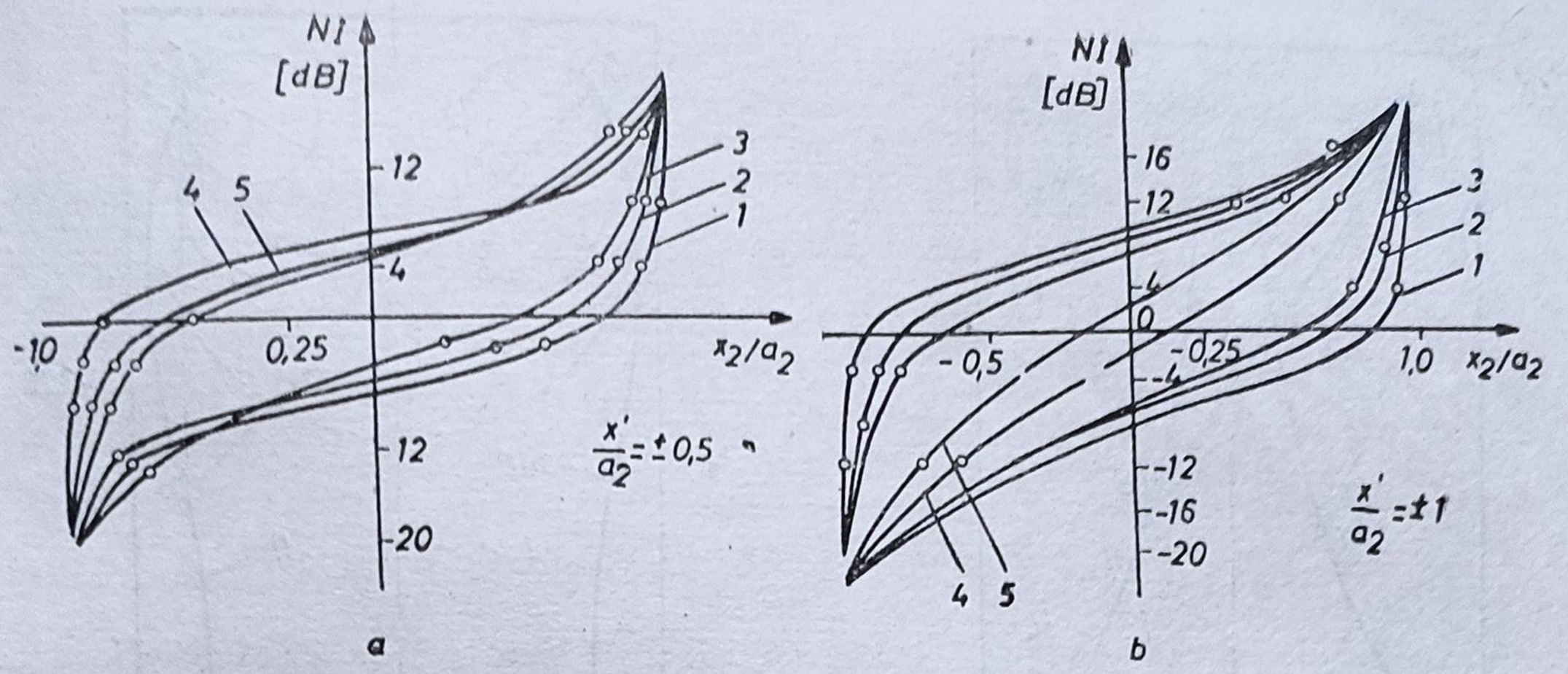


Fig. 6.8. Perceperea efectului stereofonic de către un observator situat în afara axei de simetrie a dispozitivului cu : *a*) $x'/a_2 = \pm 0{,}5$; *b*) $x'/a_2 = \pm 1$, și la o distanță față de difuzoare de : *1*) $y'/a_2 = 0$; *2*) $y'/a_2 = 2$; *3*) $y'/a_2 = 3$; *4*) $y'/a_2 = 4$; *5*) $y'/a_2 = 8$.

Din analiza acestor curbe, se por trage următoarele concluzii :

— ascultătorii plasați de-a lungul axei vor percepe diferit poziția imaginii sonore ;

— pentru fiecare ascultător variația uniformă a diferenței de nivel de intensitate este legată de viteze diferite ale imaginii sonore.

— cu cît ascultătorul se depărtează mai mult, cu atît viteza de mișcare a imaginii sonore devine mai constantă, valoarea ei medie micșorîndu-se.

Dacă se trasează aceleași curbe pentru un ascultător situat în afara axei (fig. 6.8) se deduc următoarele :

1. Pentru aceeași diferență de nivel ascultătorii așezați într-un rînd în fața difuzoarelor percep poziția imaginii sursei sonore în mod diferit ; un ascultător din centru o va percepe în centru, iar unul situat lateral o va percepe deplasată față de axa de simetrie în același sens cu deplasarea ascultătorului.

2. Panta curbelor pentru diferite rapoarte $\frac{y'}{a_2}$ și $\frac{x'}{a_2}$ arată că pentru fiecare ascultător viteza de deplasare a imaginii diferă, și anume pentru un ascultător din centru această variație este uniformă, iar pentru unul așezat lateral această variație este bruscă.

3. Precizia determinării poziției imaginii sonore scade cu cît aceasta se află mai aproape de centrul bazei de redare și cu cît ascultătorul este mai departe de linia de centru.

S-a mai constatat că precizia localizării imaginii sonore crește cu cît durata de reverberație este mai mică. Se consideră, și experiența a verificat acest lucru, că zona de ascultare cu efect stereofonic cuprinde o suprafață în care sînt menținute în mod constant raporturile între presiunile sonore produse de cele două difuzoare (curbele *I* și *II* reprezentate punctat). Variația raportului intensităților sonore în locurile de ascultare, în care se păstrează efectul stereofonic, nu trebuie să depășească valoarea de 3 dB. Acest raport al intensităților sonore depinde de forma caracteristicii de directivitate a difuzoarelor și de acustica sălii unde se efectuează audiția.

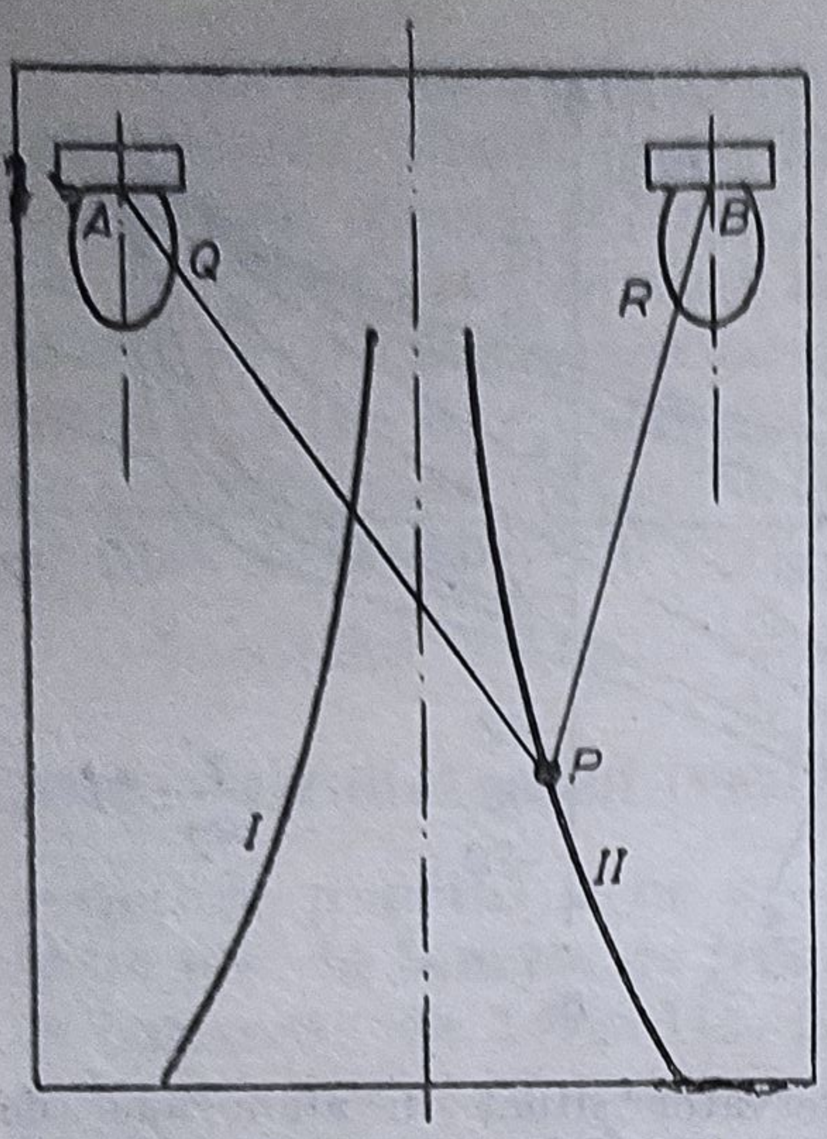


Fig. 6.9. Suprafața de ascultare stereofonică realizată cu două difuzoare cu caracteristică de directivitate în formă de elipsă.

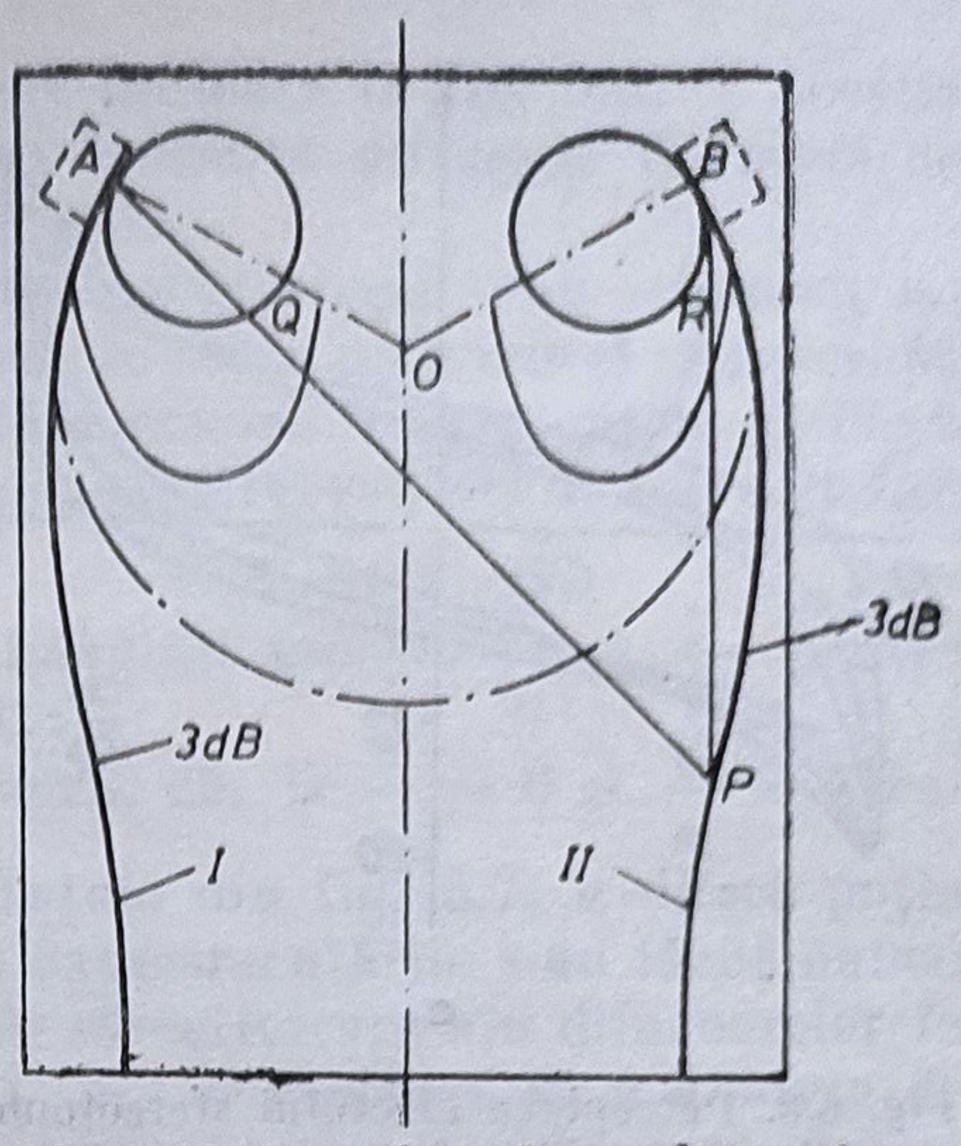


Fig. 6.10. Suprafața de ascultare stereofonică realizată cu două difuzoare cu caracteristică de directivitate în formă de cerc, orientate astfel ca unghiul AOB să fie de 120°.

Se consideră două difuzoare a căror caracteristică de directivitate este o elipsă asemănătoare cu cea din fig. 6.9. Dacă presiunea sonoră descrește proporțional cu distanța, atunci într-un punct P se poate evalua echilibrul celor două canale conform relației :

$$\delta = \log\left[\frac{AQ}{BR} \cdot \frac{BP}{AP}\right] \tag{6.2}$$

Dacă valoarea lui ΔNI nu depășește 3 dB, va exista în acel punct o audiție stereofonică satisfăcătoare. Aceste puncte se află în interiorul suprafeței de ascultare stereofonică delimitată de curbele I și II.

Dacă se aleg caracteristicile de directivitate ale celor două difuzoare identice, de formă circulară și orientare spre punctul O, ca în fig. 6.10, se obțin rezultate mult mai bune.

Forma acestei caracteristici de directivitate nu este greu de obținut. Ea poate fi realizată din două surse sonore apropiate, radiind în opoziție de fază. Caracteristicile de directivitate ale difuzoarelor moderne introduse într-o incintă de volum mai mic sînt asemănătoare cu cele sferice. Se observă că sistemul de redare stereofonică indicat în fig. 6.10 asigură un raport constant al intensităților sonore atît pe axa de simetrie a difuzoarelor, cît și pe un cerc cu centrul în punctul O, și raza egală cu distanța de la un difuzor pînă în centru.

Se obțin rezultate bune în cazul cînd difuzoarele se așează astfel încît unghiul AOB este de 120°. În fig. 6.10 se văd limitele zonei în care variația raportului de intensitate este de aproximativ 3 dB (liniile continue I și II).

Prin urmare, în cazul acestei orientări a difuzoarelor, admițînd abateri de 3 dB, suprafața de audiție stereofonică se mărește considerabil.

Dacă se alege un mobilier de construcție specială se poate îmbunătăți zona de audiție stereo. De exemplu, într-o încăpere cu reverberație nu prea mare, cu un mobilier (*1*) amplasat ca în fig. 6.11 și cu caracteristicile de directivitate ale difuzoarelor de formă cardioidă arătate în figură (*3*), se obține un bun efect stereofonic pentru un ascultător așezat pe axa de simetrie a sistemului de redare (*2* — imagine sonoră).

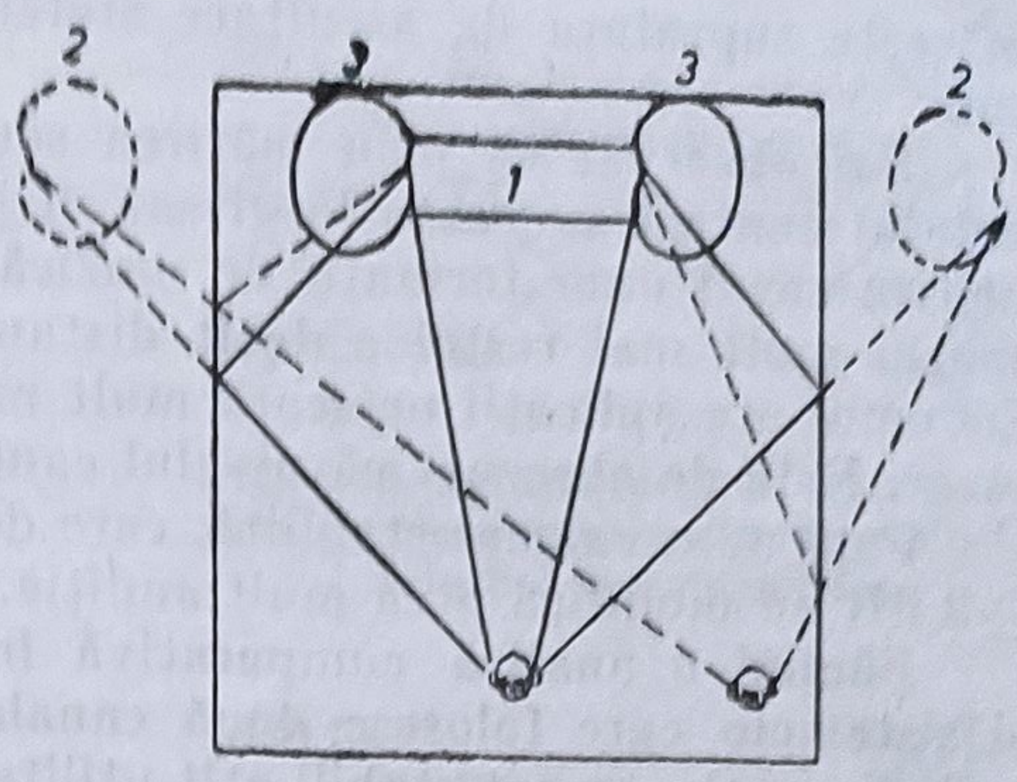


Fig. 6.11. Așezarea mobilierului prevăzut cu difuzoare laterale, pentru a obține o bază mai mare, în cazul unei încăperi cu pereți reflectanți: 1 — mobilier; 2 — imaginea sonoră; 3 — caracteristici de directivitate ale difuzoarelor.

Rezultatele sînt satisfăcătoare totuși și în pozițiile laterale, creîndu-se în aceste condiții o suprafață destul de mare, ceea ce este avantajos pentru audiții stereofonice în încăperi de locuit.

Concluziile generale care se pot trage cu privire la reproducerea în sistemul sterofonic pe două canale sînt următoarele:

— poziția imaginii sunetului stereofonic depinde nu numai de diferența de nivel a intensității sonore a celor două surse (difuzoare) dar și de poziția ascultătorului.

— eroarea de localizare a imaginii sonore poate să ajungă pînă la 80—90% atunci cînd ascultătorul se află la una dintre limitele laterale ale zonei de audiție.

— localizarea devine tot mai greu de realizat, cu cît imaginea este mai centrală, cu cît ascultătorul se află mai departe de axa de simetrie și cu cît durata de reverberație este mai mare.

— deplasarea imaginii sunetului stereofonic nu este proporțională cu variația diferenței intensităților celor două difuzoare.

— viteza de deplasare a imaginii sonore depinde de viteza de variație a diferenței de intensitate și de poziția de ascultare.

6.2. PROCEDEE DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A REPRODUCERILOR STEREOFONICE CU DOUĂ CANALE PRIN FOLOSIREA UNUI AL TREILEA CANAL

În paragraful precedent s-au arăt atneajunsurile procedeului stereofonic care folosește două canale, față de procedeele stereofonice cu mai multe canale. În continuare se vor indica unele procedee apropiate de procedeul stereofonic cu trei canale care sînt ușor de realizat și cu avantaje evidente.

Principiul constă în utilizarea, numai la reproducere, pe lîngă cele două canale obișnuite, a unui al treilea canal al cărui dispozitiv de ascultare este plasat între celelalte două ; acest canal va primi suma tensiunilor electrice, obținute la captarea stereofonică pe două canale, informația primită fiind similară cu aceea care ar fi dată de un al treilea microfon situat între cele două.

Încercările care s-au făcut au arătat că acest sistem este capabil să dea rezultate care se apropie foarte mult de audiția naturală. De asemenea, se

mărește suprafața de ascultare sterefonică și implicit numărul de ascultători.

S-a observat că prin mărirea sau micșorarea nivelului de ieșire al canalului central se poate lărgi sau îngusta baza de redare. Acest lucru este util în cazul unor formații de muzică de cameră care ocupă de obicei un spațiu mult mai restrîns decît distanța dintre cele două difuzoare laterale. Sistemul are aplicații pe scară mult mai largă la audițiile publice pe o scenă mare. Este de observat că nivelul canalului central nu este deosebit de critic. Față de o valoare stabilită, care depinde și de acustica sălii, o abatere de ± 2 dB nu modifică prea mult audiția.

Făcînd o analiză comparativă între captarea sunetelor pe trei canale și sistemele care folosesc două canale la captare, iar reproducerea se face pe trei canale, se pot stabili atît utilitatea cît și modul de funcționare al celui de-al treilea canal central.

La un sistem stereofonic cu trei canale se constată că fiecare dintre aceste canale nu este complet independent. Astfel, se poate determina în ce proporții se va capta fiecare microfon semnalele aparținînd celorlalte microfoane. Dacă se amplasează în fața a trei surse de sunet SR_1, SR_2, SR_3 trei microfoane M_1, M_2, M_3, așa cum se vede în fig. 6.12, atunci din considerente geometrice și de simetrie semnalele electrice date de fiecare microfon vor avea următoarele valori :

$$\begin{aligned} &U_1 + 0{,}7\ U_2 + 0{,}45\ U_3 \text{ (canal 1)} \\ &0{,}71\ U_1 + U_2 + 0{,}71\ U_3 \text{ (canal 2)} \\ &0{,}45\ U_1 + 0{,}7\ U_2 + U_3 \text{ (canal 3)} \end{aligned} \tag{6.3}$$

Se fac următoarele ipoteze :
— amplificările în cele trei canale electroacustice sînt egale ;
— ca referință se ia tensiunea de ieșire a canalului pentru care s-a scris relația de tensiuni electrice ;
— tensiunea de ieșire a microfonului este proporțională cu presiunea acustică din fața microfonului și invers proporțională cu distanța dintre microfon și sursa sonoră ;
— microfonul este amplasat într-un mediu complet absorbant din punct de vedere acustic.

Se observă că tensiunea electrică obținută la ieșirea unui canal cuprinde informații date de fiecare microfon în parte. În cazul sistemului de captare cu trei microfoane introduse în două canale electroacustice (microfonul central este conectat pe ambele canale), a căror ieșire este legată la trei dispozitive de reproducere, se obțin următoarele rezultate (fig. 6.13) :

$$\begin{aligned} &U_1 + U_2 + 0{,}68\ U_3 \text{ (canal 1)} \\ &0{,}83\ U_1 + U_2 + 0{,}84\ U_3 \text{ (canal 2)} \\ &0{,}68\ U_1 + U_2 + U_3 \text{ (canal 3)} \end{aligned} \tag{6.4}$$

Tensiunea de ieșire a canalului central este atenuată cu cca. 6 dB pentru a reproduce sursa centrală cu aceeași tărie ca și celelalte două surse laterale.

Se observă că o astfel de captare nu este corespunzătoare, deoarece independența între canale nu este menținută la nivelul procedeului de reproducere cu trei canale independente. Din această cauză sistemul nu se utilizează în mod curent. O situație mai bună se obține la captarea a trei

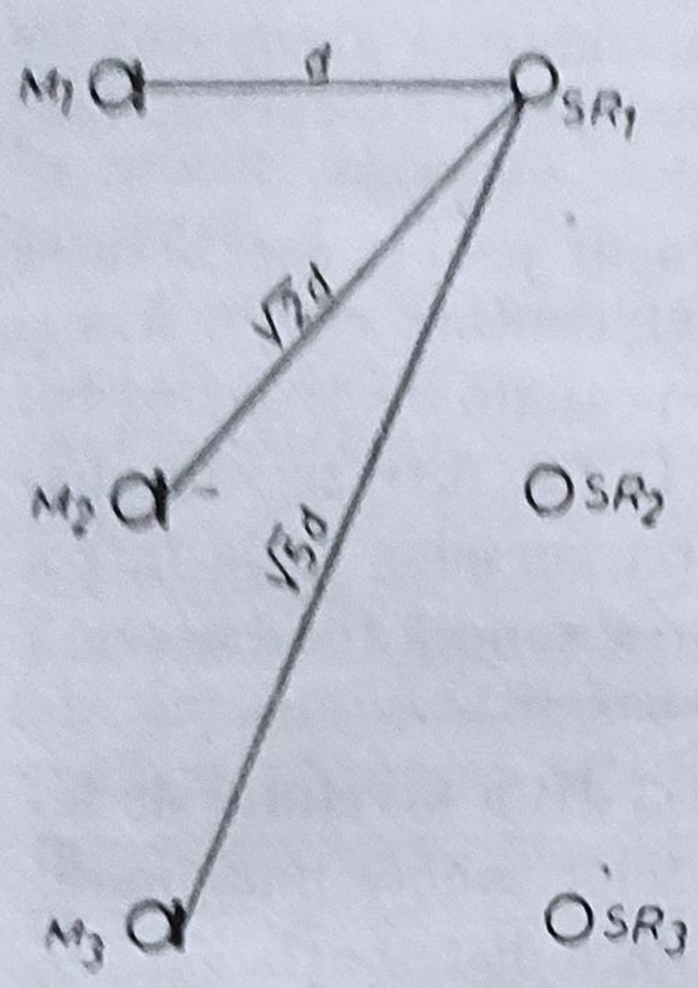


Fig. 6.12. Amplasarea surselor sonore şi a microfoanelor pentru captare.

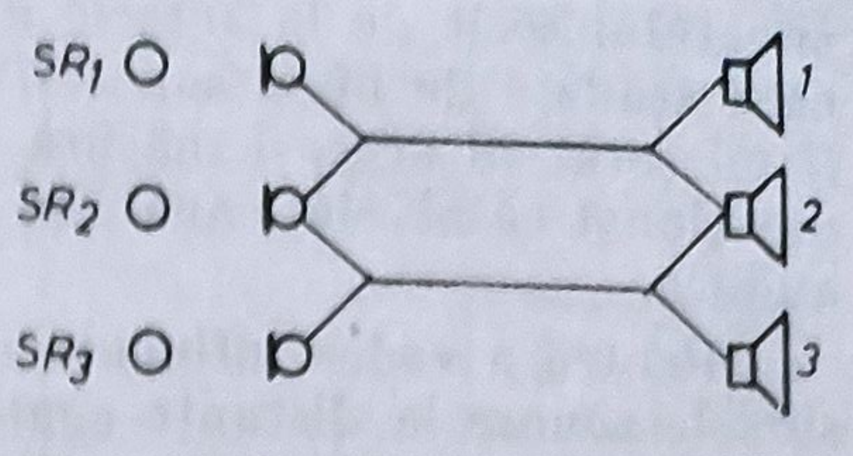


Fig. 6.13. Înregistrarea a 3surse sonore cu două canale electroacustice, folosind trei microfoane.

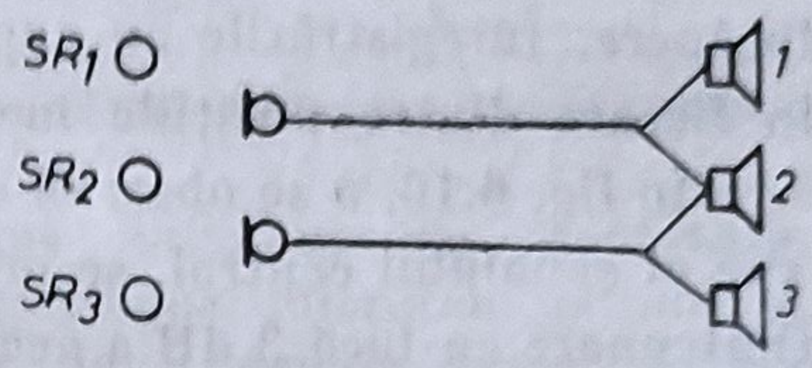


Fig. 6.14. Înregistrarea a 3 surse sonore cu două canale electroacustice, folosind două microfoane.

surse cu două microfoane introduse în două canale electroacustice şi reproduse cu trei sisteme de redare (fig. 6.14), al treilea canal rezultînd din însumarea semnalelor celor două microfoane.

Ţinînd seama, ca şi în cazurile precedente, că pentru canalul central tensiunea datorată sursei SR_2 trebuie să fie luată ca unitate, se obţine :

$$\begin{aligned} &U_1 + U_2 + 0{,}62\ U_3 \quad \text{(canal 1)} \\ &0{,}81\ U_1 + U_2 + 0{,}81\ U_3 \quad \text{(canal 2)} \\ &0{,}62\ U_1 + U_2 + U_3 \quad \text{(canal 3)} \end{aligned} \tag{6.5}$$

Situaţia cea mai apropiată de sistemul cu trei canale independente se obţine prin utilizarea microfonului stereofonic în coincidenţă, care constă din două capsule suprapuse (fig. 6.15), avînd caracteristicile de directivitate în formă cardioidă, cu axele de sensibilitate maximă decalate la 180°. Ţinînd seama de caracteristicile de directivitate şi de distanţă, se deduce :

$$\begin{aligned} &U_1 + 0{,}82\ U_2 + 0{,}08\ U_3 \quad \text{(canal 1)} \\ &0{,}66\ U_1 + U_2 + 0{,}66\ U_3 \quad \text{(canal 2)} \\ &0{,}08\ U_1 + 0{,}82\ U_2 + U_3 \quad \text{(canal 3)} \end{aligned} \tag{6.6}$$

Nivelul (obţinut din calcul) necesar canalului central pentru obţinerea unei continuităţi a imaginii sonore este totuşi diferit de cel rezultat în practică. Acest lucru se datoreşte unui efect subiectiv provocat de întîrzierea

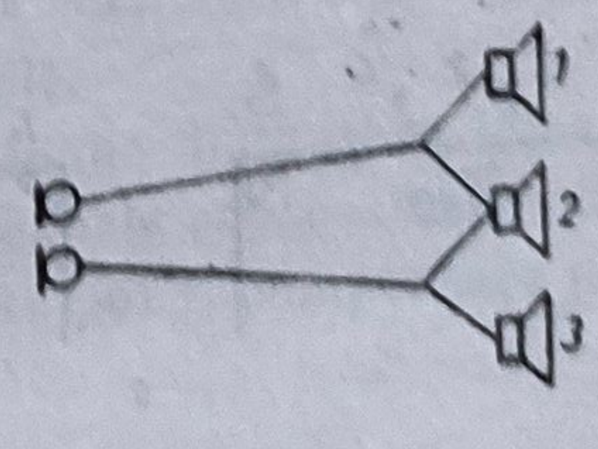
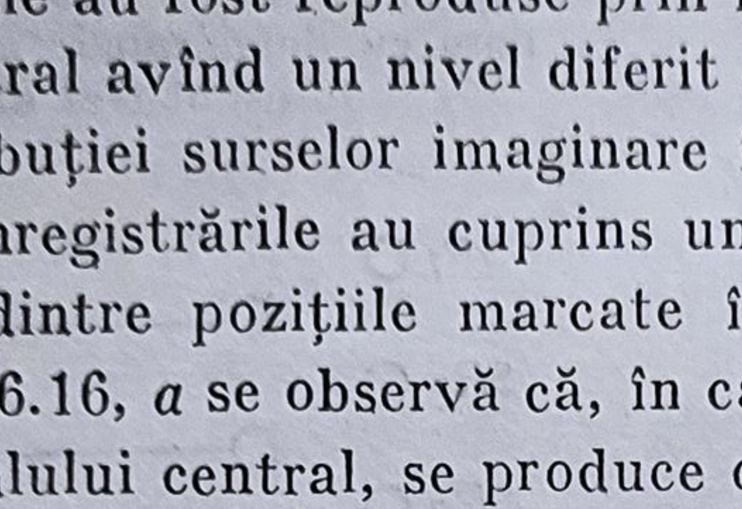


Fig. 6.15. Înregistrarea a 2 surse sonore cu un microfon stereofonic.

sunetului sosit de la sursele aşezate lateral, pe care ascultătorul le percepe ca o scădere de nivel sonor. Din această cauză nivelul canalului central va fi micşorat în aceeaşi măsură în care sursele laterale par mai atenuate. De menţionat că nivelul canalului central depinde şi de încăperea în care se face audiţia.

Pentru a vedea influenţa canalului central s-au făcut probe, aşezîndu-se sursele sonore la distanţe egale între ele. Acestea sînt captate cu două microfoane. Ele au fost reproduse prin intermediul a trei canale electroacustice, canalul central avînd un nivel diferit de cele laterale. În fig. 6.16 se văd abaterile distribuţiei surselor imaginare faţă de distribuţia surselor reale într-o încăpere. Înregistrările au cuprins un text vorbit, sursa sonoră fiind aşezată în fiecare dintre poziţiile marcate în figură.

În fig. 6.16, *a* se observă că, în cazul atenuării cu 3 dB a nivelului de ieşire al canalului central, se produce o deplasare a surselor sonore imaginare. O atenuare cu încă 3 dB a acestui canal (fig. 6.16, *b*) dă o distribuţie care se apropie mai mult de realitate.



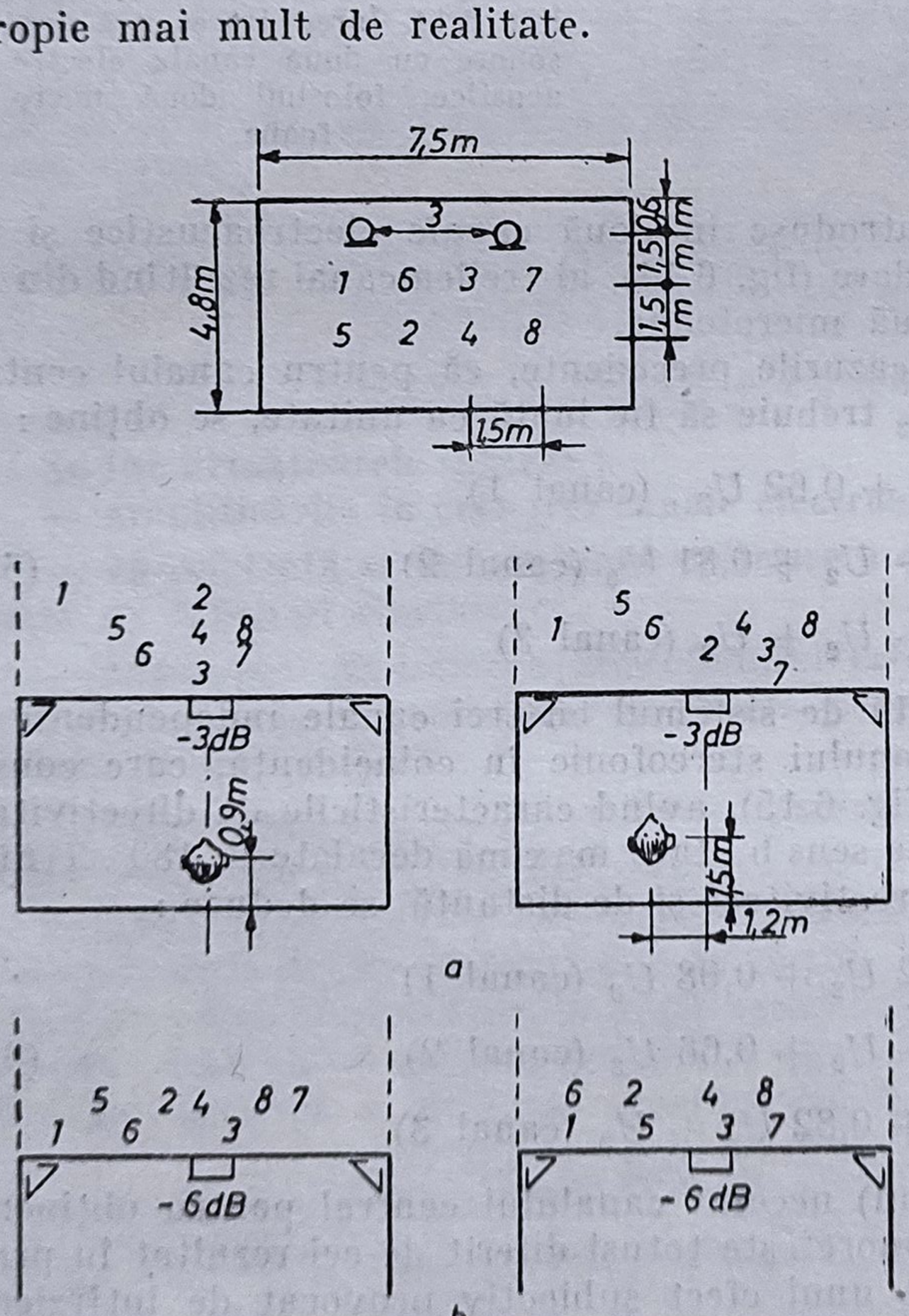


Fig. 6.16. Distribuţia surselor sonore reale într-o încăpere şi obţinerea distribuţiei imaginilor într-un sistem cu două canale electroacustice şi un canal ajutător: *a*) pentru o atenuare de 3 dB a nivelului de ieşire a canalului central; *b*) pentru o atenuare de 6 dB; *c*) pentru o atenuare de 9 dB.

Prin atenuarea canalului central cu 9 dB, se obține o distribuție ideală, realizîndu-se o continuitate a imaginii sonore chiar și pentru un ascultător situat în afara axei de simetrie (fig. 6.16, dreapta).

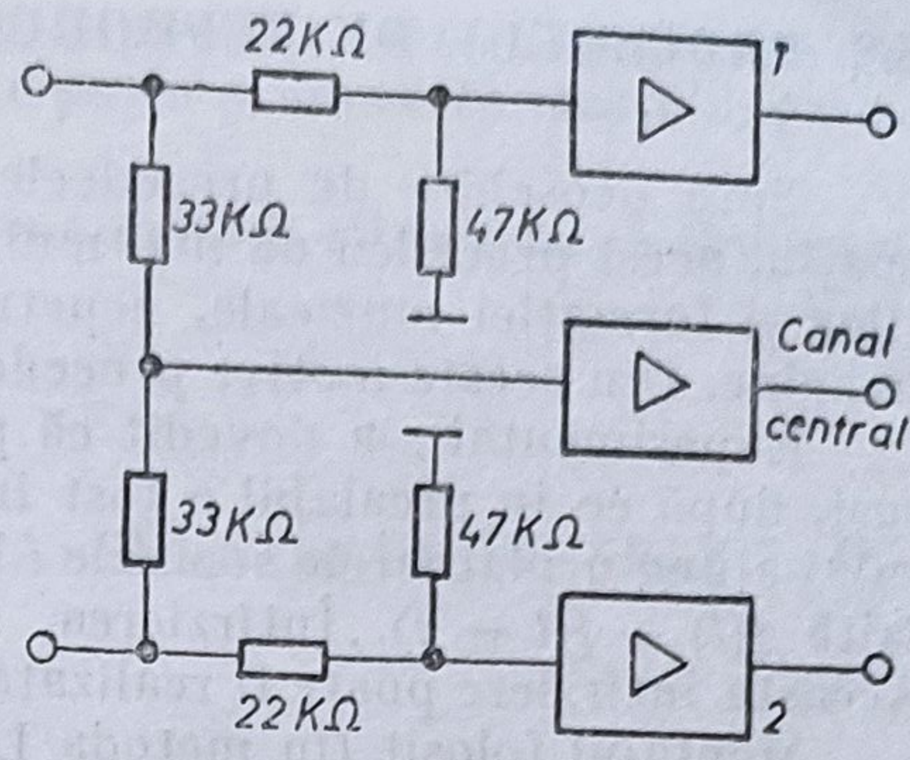


Fig. 6.17. Realizarea unui canal fantomă.

Foarte frecvent este utilizat procedeul de reproducere stereofonică cu două canale electroacustice și trei sisteme de redare, unul dintre acestea, și anume cel central, fiind realizat printr-un *circuit fantomă* de tipul celui folosit în telefonie. Principiul utilizării unui canal central realizat printr-un circuit fantomă constă în însumarea semnalelor a două microfoane suficient de depărtate, rezultanta lor corespunzînd semnalelor unui singur microfon situat în mijlocul distanței dintre ele. În felul acesta, la n canale reale se pot suprapune $n - 1$ canale fantomă și, deci, n microfoane pot alimenta $2n-1$ difuzoare. Se presupune, în cele ce urmează, că fiecare ieșire de microfon care alimentează canalele stereofonice au o impendanță mică față de intrările amplificatorului de putere.

Dacă se consideră canalul 1 fără semnal, în schema din fig. 6.17, canalul fantomă va primi jumătate din tensiunea canalului 2 ; cînd canalul 2 nu are semnal, atunci canalul fantomă primește jumătate din tensiunea canalului 1.

Dacă ambele canale au semnale egale ca intensitate și fază, canalul fantomă primește același semnal ca și cele laterale. Practic, însă, cele două semnale nu sînt egale și atunci canalul central va primi un semnal egal cu rezultanta valorilor eficace ale celorlalte două semnale. În cazul acesta, semnalul va fi aproximativ cu 3 dB mai mic decît semnalele canalelor laterale. Pentru obținerea unui echilibru sonor, este necesar ca acestea să fie atenuate cu aproximativ aceeași valoare.

În concluzie, necesitatea introducerii unui canal suplimentar plasat în centru, în oricare dintre variantele de captare și reproducere stereofonică analizate, a rezultat din următoarele considerații :

— pentru pozițiile de ascultare apropiate de linia difuzoarelor, imaginea sursei sonore centrale este ridicată mult deasupra difuzoarelor ;

— intensitatea sonoră pe linia centrală a sistemului de audiție stereofonică scade pe măsură ce ascultătorul se îndepărtează și ajunge pentru o distanță de 1,5 ori mai mare decît distanța dintre difuzoare la o scădere a nivelului de intensitate sonoră cu —7 dB ;

— suprafața de audiție stereofonică a două difuzoare este încadrată de hiperbole care au ca centru tocmai aceste difuzoare. Această suprafață este foarte redusă : mărirea ei se face cu ajutorul canalului central, care compensează diferențele de intensitate ce apar datorită întîrzierii sunetului în punctele din afara suprafeței mărginite de hiperbole.

— în sistemele de captare cu două microfoane distanțate între ele, intensitatea sonoră are variații mari cînd microfoanele captează sursele sonore sub un unghi mare. Aceste variații de intensitate pot fi compensate printr-un canal suplimentar central.

6.3. PROCEDEUL DE REPRODUCERE PSEUDOSTEREOFONIC

Spre deosebire de procedeele stereofonice, care realizează impresia de spaţiu, acest procedeu dă mai mult o senzaţie de prezenţă şi apropiere a solişti-lor şi formaţiei muzicale, nepermiţînd totuşi localizarea surselor de sunet imagine. Din aceste motive procedeul a fost denumit *pseudostereofonic.*

Experimental s-a dovedit că prin combinarea unui semnal $f(t)$ cu el însuşi, după ce în prealabil a fost întîrziat cu timpul τ, la urechile ascultătorului ajung următoarele semnale : la una din urechi $f(t) + f(t - \tau)$, iar la cealaltă $f(t) - f(t - \tau)$. Întîrzierea, în general, se alege mai mică de 50 ms. Această întîrziere poate fi realizată prin mijloace acustice sau electroacustice.

Montajul folosit (în metoda Lauridsen) pentru a pune în evidenţă efectul pseudostereofonic este reprezentat în fig. 6.18, cu două difuzoare aşezate perpendicular unul faţă de celălalt. Acest efect poate fi sesizat atît cu ajutorul căştilor, cît şi cu ajutorul difuzoarelor. Unul dintre difuzoare va fi alimentat cu semnal sumă, iar celălalt cu semnal diferenţă. Se va căuta ca în locul de ascultare fazele şi intensităţile sonore ale celor două difuzoare să fie identice. La fiecare ureche intensitatea sonoră variază cu frecvenţa. Dacă semnalul iniţial este o sinusoidă, atunci la urechea la care se aplică suma se va obţine o variaţie a intensităţii, în funcţie de frecvenţă, care este reprezentată în fig. 6.19, *a*. La urechea la care se aplică diferenţa semnalelor, variaţia va fi ca în fig. 6.19, *b*. Se observă că atunci cînd la una din urechi intensitatea este maximă, la cealaltă ureche intensitatea este minimă, iar *suma* intensităţilor la cele două urechi, este constantă şi independentă de frecvenţă. Aplicarea semnalului, pe rînd, unei urechi sau celeilalte creează senzaţia denumită *efect pseudostereofonic.*

Diferenţa de fază între intensităţile sonore aplicate celor două urechi variază şi ea cu frecvenţa (fig. 6.19, *c*).

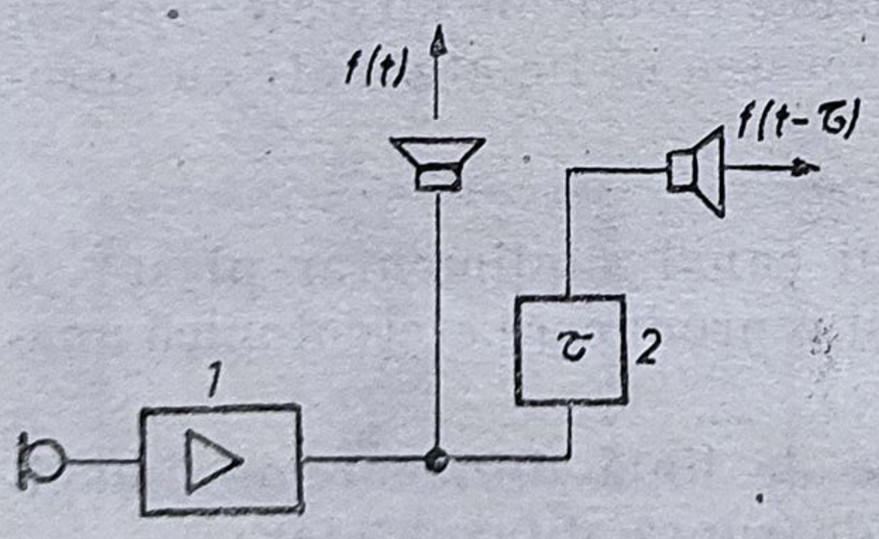
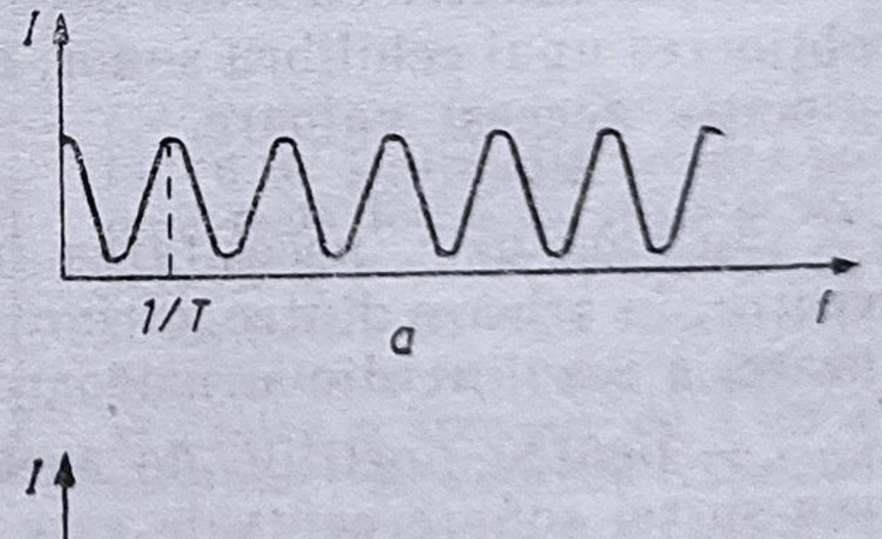


Fig. 6.18. Experienţa efectuată de Lauridsen cu două difuzoare aşezate perpendicular unul pe celălalt : *1* — amplificator ; *2* — sistem de producere a întîrzierii.



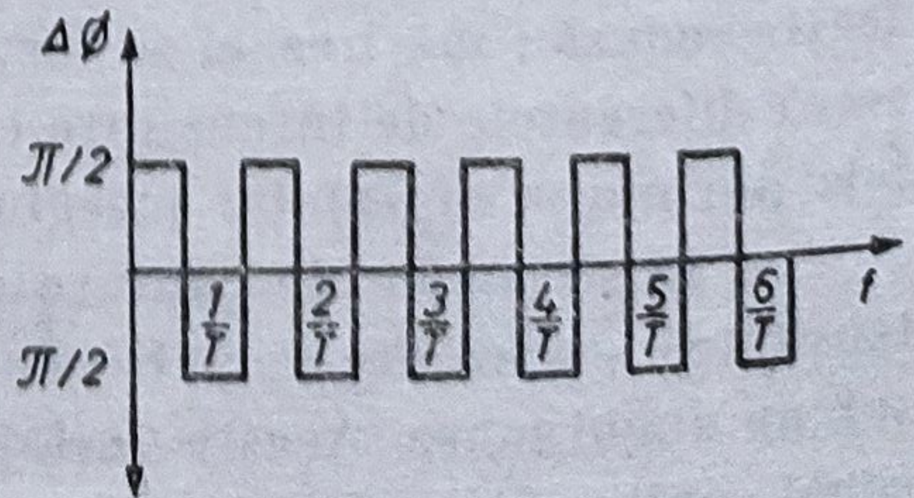


Fig. 6.19. Variaţia intensităţii şi a fazei între cele două urechi în funcţie de frecvenţă : *a*) variaţia intensităţii sonore la urechea stîngă ; *b*) variaţia intensităţii sonore la urechea dreaptă ; *c*) variaţia fazei între cele două urechi.

În urma unor cercetări s-a arătat că diferența de fază între semnalele sosite la cele două urechi influențează foarte puțin producerea efectului pseudostereofonic.

Contribuția hotărîtoare o are variația intensității cu frecvența (așa cum se arată în fig. 6.19, *a* și 6.19, *b*).

6.4. REPRODUCEREA STEREOFONICĂ A SUNETULUI ÎN SPAȚII ÎNCHISE

Scopul urmărit în reproducerea stereofonică a sunetului este de a obține imagini sonore cît mai apropiate de realitate, creînd unui ascultător impresia că se găsește într-o sală și asistă la un spectacol care se desfășoară pe o scenă în fața sa. Dar întotdeauna condițiile de spațiu în care are loc ascultarea programului stereofonic sînt mult diferite de cele în care a avut loc producerea sa.

De aceea, în afara analizei procedeelor tehnice de captare și reproducere stereofonică, este necesar să studiem condițiile de spațiu în care are loc reproducerea stereofonică, amenajările și îmbunătățirile necesare pentru a asigura parametrii de calitate tehnică cît mai buni.

În toate cazurile în care nu avem la dispoziție un spațiu corespunzător unei audiții stereofonice de calitate (precizat în continuare) sau atunci cînd ascultătorul nu se poate amplasa într-un loc corespunzător audiției stereofonice din încăperea respectivă, deoarece activitatea desfășurată pretinde să ocupe un punct situat în afara zonei de audiție stereofonică sau chiar să-și schimbe locul în timpul desfășurării ascultării, audiția stereofonică de calitate se poate realiza în cele mai bune condițiuni în căști acustice. Cu toate că acest procedeu este puțin incomod și are dezavantajul că scena sonoră se rotește odată cu capul ascultătorului, el se folosește atunci cînd ascultătorul se află în mișcare și se recomandă în anumite situații să fie folosit chiar de personalul care-și desfășoară activitatea în locurile unde se realizează producții stereo.

În mod curent, la reproducerile stereofonice se folosesc incinte sonore (difuzoare) situate la distanțe diferite în funcție de posibilitățile oferite de încăpere și orientate în mod corespunzător. Imaginea stereofonică din cîmpul sonor în care este situat ascultătorul nu mai este independentă de spațiul în care se face audiția, ca în cazul audiției în căști, ci este influențată de factorii externi și proprietățile încăperii. S-ar părea că în aceste condiții nu s-ar putea obține o bună audiție stereofonică. Efectuarea unor experimente a permis determinarea în aceste condiții a zonelor (din încăperile respective) în care este posibilă audiția stereofonică. O astfel de zonă este cea reprezentată în fig. 6.20. Se poate observa că suprafața în care se poate percepe efectul stereofonic este delimitată de două hiperbole. În focarele hiperbolelor se găsesc difuzoarele care

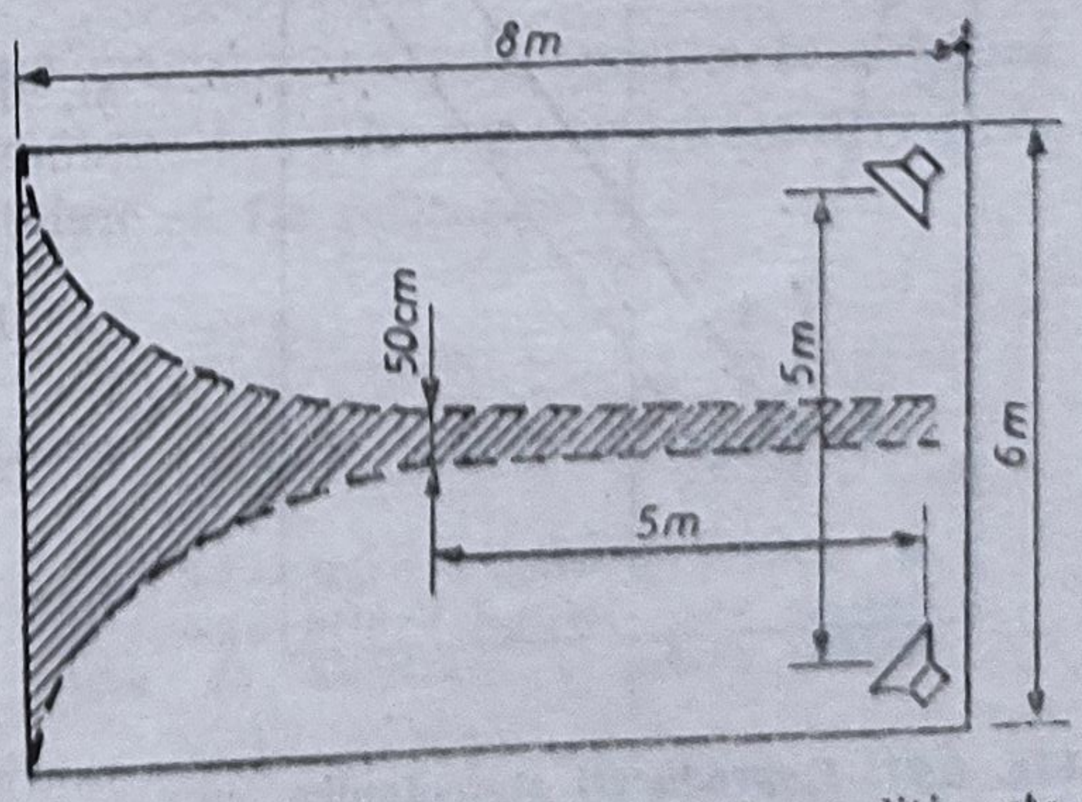


Fig. 6.20. Delimitarea zonei de audiție stereofonică.

sînt conectate la ieşirea fiecărui canal stereofonic. Analizînd această figură, se constată că pentru o lărgime a bazei de 5 m şi la o depărtare de 5 m faţă de aceasta, se obţine o lăţime a suprafeţei de ascultare de 0,5 m. Este necesar să remarcăm că proporţiile se păstrează oarecum şi pentru alte mărimi ale bazei de redare. Este evident că o asemenea lăţime a suprafeţei de ascultare stereofonică nu poate satisface cerinţele practicii.

Efectul stereofonic într-o sală trebuie să fie perceput de un număr mare de spectatori, ceea ce implică crearea unei zone de audiţie lărgită. Soluţiile propuse pentru lărgirea zonei de audiţie se bazează pe principiul următor : crearea unui raport constant al presiunilor acustice obţinute prin intermediul dispozitivelor de ascultare pe o zonă cît mai mare. Pentru determinarea acestei zone de percepere stereofonică, este necesar să se traseze curbele care reprezintă locul geometric al punctelor cu raport de presiuni constant (sau în cel mai defavorabil caz cu denivelări de maximum 3 dB) care limitează suprafaţa de audiţie. Pentru obţinerea unui asemenea raport de presiuni, trebuie să se ţină seama şi de caracteristicile acustice ale încăperii. Astfel, pentru o încăpere cu o absorbţie de sunet mare va fi adoptat un anumit procedeu, iar pentru o încăpere reverberantă, altul.

În cazul încăperilor cu durată de reverberaţie mică, mărirea zonei de percepere stereofonică este posibilă prin alegerea judicioasă a caracteristicilor de directivitate şi orientarea difuzoarelor, elementul esenţial fiind sunetul direct.

Problema de bază în mărirea suprafeţei de audiţie stereofonică este obţinerea unor rapoarte de presiuni constante. Abaterile mai mici de 3 dB nu duc la schimbări importante ale imaginii stereofonice, în schimb permit lărgirea considerabilă a suprafeţei de audiţie. Astfel, pentru caracteristici de directivitate circulare, cum sînt cele din fig. 6.10 se obţine o zonă de percepţie stereofonică suficient de mare. Inconvenientul acestei metode, în cazul sonorizărilor în săli mari, constă în faptul că denivelările provocate de rîndurile de scaune ocupate de spectatori împiedică menţinerea formei caracteristicilor de directivitate pe toată suprafaţa sălii. O variantă a principiului expus şi care remediază acest inconvenient este acela care utilizează surse sonore cu caracteristici de directivitate ca acelea din fig. 6.21.

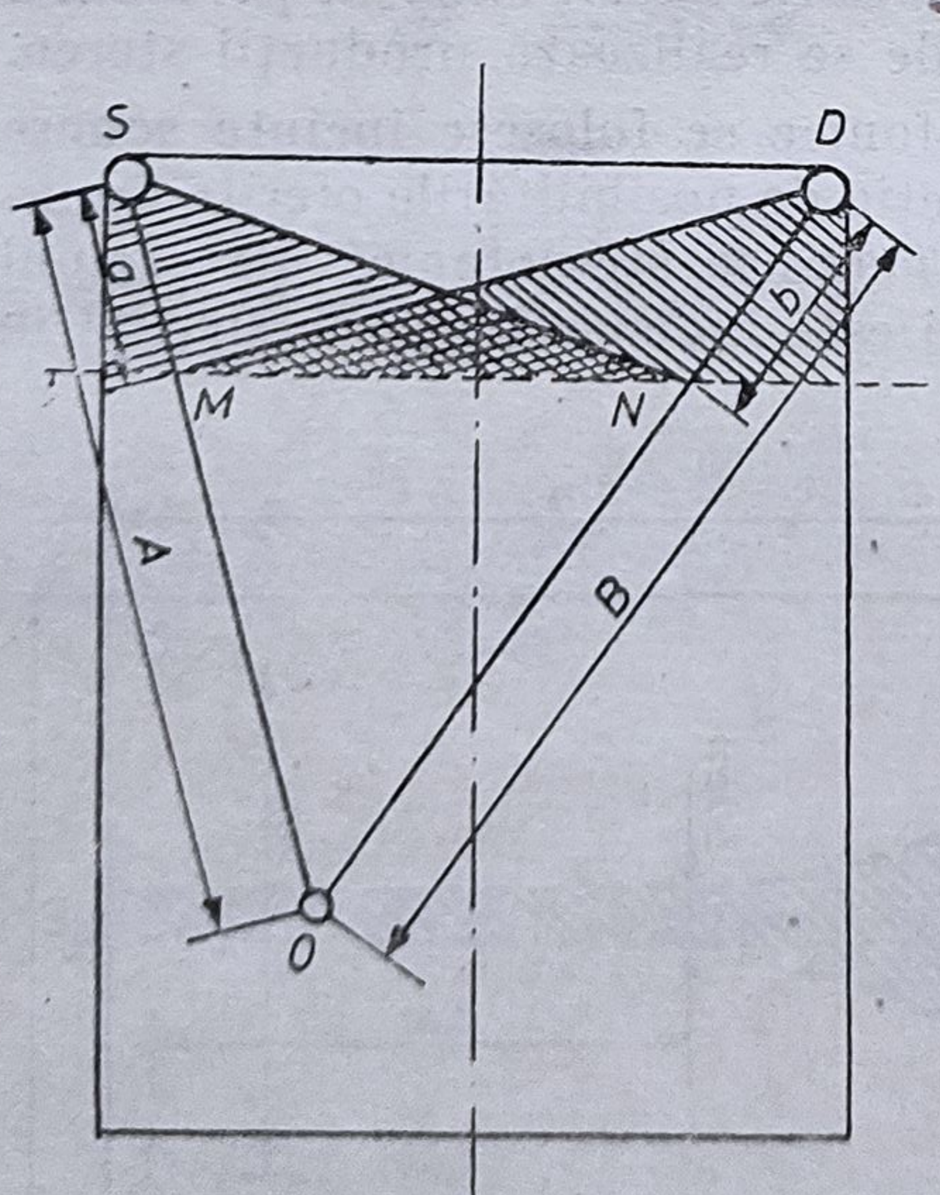


Fig. 6.21. Reproduceri stereofonice cu dispozitive de ascultare avînd caracteristici de directivitate triunghiulară.

Dacă se impune condiţia ca presiunile acustice p_M şi p_N să fie proporţionale cu distanţele,

$$p_M = Ka \quad \text{şi} \quad p_N = Kb, \tag{6.7}$$

şi, deoarece presiunile date de sursele sonore S şi D în punctul O sînt date de relaţiile

$$P_{SO} = K' \frac{p_M}{A} \quad \text{şi} \quad P_{DO} = K' \frac{p_N}{B} \tag{6.8}$$

se ajunge la rezultatul

$$\frac{P_{SO}}{P_{DO}} = 1 \tag{6.9}$$

Prin urmare, pentru surse cu caracteristici de directivitate triunghiulare, ca acelea din fig. 6.21, se pot obţine zone mari de audiţie stereofonică.

Cu toate că nu este ușor de realizat practic aceste caracteristici de directivitate, soluționarea problemei este totuși posibilă prin utilizarea unor surse alcătuite din mai multe difuzoare cu orientări și tensiuni de alimentare diferite.

Elementele care alcătuiesc o asemenea sursă complexă pot fi dispuse fie pe orizontală, fie pe verticală. Spre deosebire de cazul încăperilor cu durată de reverberație mică, unde mărirea zonei de percepere stereofonică se datorește în cea mai mare parte sunetului direct, pentru încăperile cu pereți reflectanți elementul prin care se mărește zona de audiție îl constituie undele sonore reflectate. Este adevărat că aceste sunete reflectate ar putea crea anumite dificultăți de localizare a surselor sonore, însă orientarea judicioasă a dispozitivelor de ascultare și alegerea potivită a caracteristicilor de directivitate nu numai că îndepărtează aceste inconveniente, ci, mai mult, permit lărgirea zonei de percepție stereofonică. În fig. 6.22 este reprezentat un astfel de caz. Încăperea în care se face audiția are pereții reflectanți, iar incintele de ascultare au caracteristici de directivitate în formă cardioidă. Așa cum s-a arătat în acest capitol, obținerea unor astfel de caracteristici presupune luarea unor măsuri speciale în proiectarea mobilierului în care se fixează difuzoarele. Cele două caracteristici de directivitate sînt dirijate în așa fel încît axele lor de simetrie să fie perpendiculare pe cei doi pereți. Un ascultător situat pe axa de simetrie a sistemului recepționează sunetele directe mai slab decît pe cele reflectate și aceasta deoarece caracteristica de directivitate este în așa fel orientată, încît în direcția axei de simetrie presiunile acustice au valori minime. În acest caz, ascultătorul va localiza fiecare sursă de sunet între difuzor și imaginea sa creată de undă sonoră reflectată. Dacă ascultătorul se deplasează lateral față de axa de simetrie, de exemplu în partea dreaptă, se observă o mărire a intensității pentru sunetele directe și o micșorare pentru cele reflectate. Intensitatea sonoră globală rămîne totuși aproximativ egală cu cea din cazul anterior. Ascultătorul va localiza acum sursele de sunet tot între difuzor și imaginea lui creată prin reflexii. Cu această metodă, zona de audiție stereofonică se mărește destul de mult, acoperind practic toată încăperea.

Luînd ca bază principiul de mărire a suprafeței de audiție stereofonică prin folosirea reflexiilor, s-au făcut și alte experimentări care au dus la obținerea unor rezultate interesante.

Astfel, în fig. 6.22 se poate observa mărirea zonei de audiție stereofonică față de cea din fig. 6.20, prin folosirea mai multor difuzoare orientate divergent spre pereții încăperii (care evident trebuie să fie reflectanți).

Fig. 6.22. Mărirea zonei de audiție stereofonică prin folosirea unor dispozitive de ascultare orientate diferit.

6.4.1. ÎNCĂPERI DESTINATE AUDIȚIILOR STEREOFONICE DE ÎNALTĂ CALITATE

Pentru audiții stereofonice de înaltă calitate sînt necesare încăperi de dimensiuni și forme speciale, realizate conform recomandărilor făcute de forurile internaționale. În acestea se asigură controlul și verificarea înregistrărilor stereofonice de calitate.

Aceste încăperi trebuie să aibă un volum cuprins între 90 și 150 m³, necesar pentru amplasarea echipamentului electroacustic, pentru obținerea unei baze de redare mare și unui spațiu de audiție pentru cinci sau zece persoane. De regulă, se recomandă un volum de 140 m³.

Suprafața încăperii va fi de formă dreptunghiulară, avînd raportul dintre lățimea și lungimea camerei de 1 : 1,05...1,3.

În cazul în care se folosește și pentru înregistrări stereofonice, fereastra vizoare dintre încăperea unde se face ascultarea și studioul pentru înregistrare trebuie să aibă dimensiunile de 3,5 × 1,5 m. În privința duratei de reverberație, aceasta va fi de 0,4—0,5 s în banda de frecvențe de la 150 pînă la 15 000 Hz. Abaterile de la această valoare vor fi cît mai mici, astfel încît variația duratei de reverberație în funcție de frecvență să fie practic constantă. În cazul încăperilor profesionale, realizarea unui tratament acustic corespun-

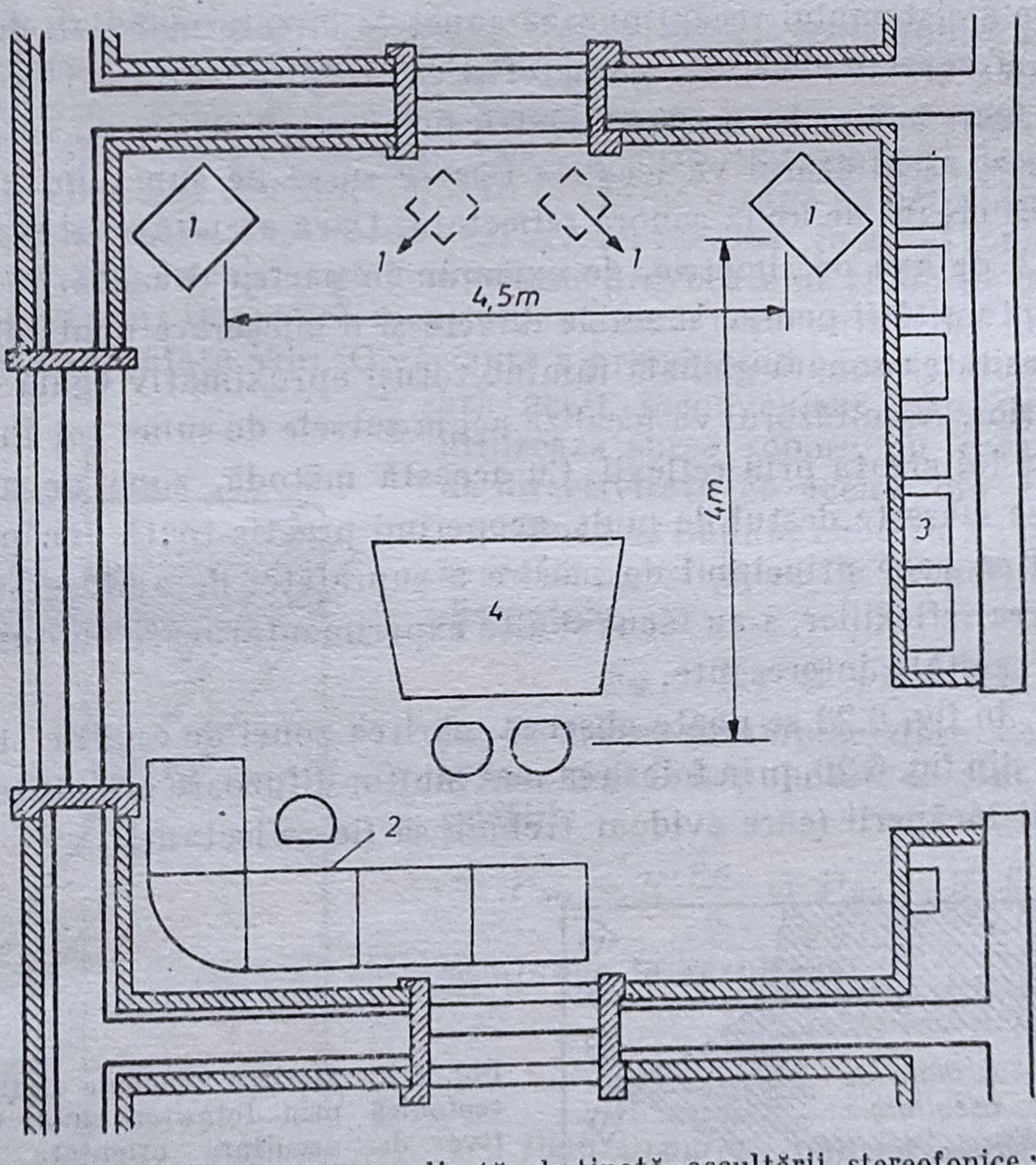


Fig. 6.23. Încăpere normalizată destinată ascultării stereofonice: *1* — dispozitive de ascultare; *2* — agregate pentru reproducerea înregistrărilor sonore; *3* — stelaje cu aparate; *4* — pupitru de corecție și dozare a sunetului.

zător este relativ ușoară. În acest caz, pereții sînt supuși unor tratamente acustice, necesare corectării absorbției sunetului la diferite frecvențe. În general, aceste structuri sînt confecționate din placaj, perforat special sau plin, dispus în așa fel încît să creeze o simetrie acustică față de linia mediană a bazei difuzoarelor. Ca lungime a bazei de redare, deocamdată a fost stabilită valoarea de 4,5 m, ascultătorul plasîndu-se la o distanță de 4 m față de această bază. Aceste distanțe au fost alese după criteriul obținerii unei baze cît mai mari, în care centrul să se poată localiza bine.

În figura 6.23 este reprezentată o astfel de încăpere cu o suprafață de 45 m² și un volum de 140 m³. Înălțimea este de 3,1 m. Asupra înălțimii unor astfel de încăperi nu s-au stabilit norme precise, urmărind să se facă experiențe pentru a găsi o valoare optimă.

Cazul particular al reproducerilor stereofonice în spații cu absorbție *mare* de sunet, se va trata la paragraful reproducerii stereofonice în *aer liber*, deoarece în principiu aceste două situații sînt similare și se rezolvă prin alegerea judicioasă a caracteristicilor de directivitate ale difuzoarelor și orientarea lor în mod corespunzător pentru a se utiliza numai undele directe.

6.4.2. AMENAJAREA ÎNCĂPERILOR DE LOCUIT PENTRU AUDIȚII STEREOFONICE

De regulă, încăperile de locuit nu sînt corespunzătoare pentru audiții stereofonice de calitate, deoarece au volum și suprafață mică. De aceea, un ascultător trebuie să recurgă la o serie de amenajări. Pentru aceasta este necesar să se determine :

— distanța optimă între dispozitivele de ascultare ;

— înclinația axelor acestor dispozitive, astfel încît să se creeze un spațiu de audiție stereofonică cît mai mare ;

— zona în care se poate sesiza cel mai bine efectul stereofonic.

Aceste probleme sînt legate de mai mulți factori și în primul rînd de durata de reverberație a încăperii. Durata de reverberație a unei încăperi de locuit poate fi corectată astfel încît valoarea ei să permită o bună reproducere stereo.

Cu mijloacele care se găsesc la îndemîna oricui valoarea duratei de reverberație poate fi adusă la o valoare de aproximativ 0,6 s. Pentru a corecta valoarea duratei de reverberație se utilizează materiale decorative interioare, covoare, mobilă, tapet etc. Printr-o amplasare judicioasă a acestor elemente se poate corija durata de reverberație. Valoarea duratei de reverberație trebuie să fie constantă pentru diferite frecvențe.

Un calcul rapid al duratei de reverberație T poate fi făcut în felul următor : considerînd volumul V al încăperii și coeficientul de absorbție α al diferitelor elemente din care sînt compuse suprafețele absorbante din încăpere, se poate ușor calcula această caracteristică cu formula

$$T = \frac{0{,}164\,V}{A} \qquad (6.10)$$

(V este dat în m³ iar $A = \sum S_i\alpha_i + \sum A_i$, în m², S_i fiind suprafețele ocupate de diferite materiale avînd coeficientul de absorbție α_i, iar A_i absorbția obiectelor din încăpere).

Exemplu pentru determinarea duratei de reverberație

Dacă se consideră o cameră cu dimensiunile $5 \times 4{,}5 \times 2{,}5$ m, volumul acestei camere va fi de 56,25 m³. Dacă camera este complet goală, absorbția acustică va fi :

pardoseală	A_1	$= 22{,}5 \cdot 0{,}09 = 20{,}25$ m²
plafon din tencuială	A_2	$= 22{,}5 \cdot 0{,}06 = 1{,}35$ m²
pereți din tencuială	A_3	$= [2(4{,}5 \cdot 2{,}5) + 2(5 \cdot 2{,}5)]0{,}06 = 2{,}75$ m²
		Total 6,225 m²

Durata de reverberație va fi :

$$T = \frac{0{,}164 \cdot 56{,}25}{6{,}225} \approx 1{,}48 \text{ s}$$

Această valoare este însă prea mare pentru necesitățile unei audiții stereofonice și trebuie redusă. În acest scop, pentru micșorarea valorii lui T, se pot folosi următoarele materiale :

pardoseală acoperită cu covor	$22{,}5 \cdot 0{,}37 = 8{,}3$	m²
plafon din tencuială	$22{,}5 \cdot 0{,}06 = 1{,}35$	m²
pereți acoperiți cu draperii 1/5	$9{,}5 \cdot 0{,}55 = 5{,}2$	m²
pereți neacoperiți 4/5	$38 \cdot 0{,}06 = 2{,}28$	m²
	Total 17,13	m²

Durata de reverberație va fi :

$$T = \frac{0{,}164 \cdot 56{,}25}{17{,}13} = 0{,}54 \text{ s}$$

Exemplul de calcul s-a făcut cu coeficienți α_i corespunzători frecvenței de 5 kHz. La fel se face și pentru alte frecvențe din banda de audiție și este indicat ca abaterile duratei de reverberație să nu fie mai mari de 10%.

În calculul absorbției trebuie să fie incluse și absorbția persoanelor prezente și a altor obiecte care se găsesc în încăpere.

Uneori nu se poate obține riguros aceeași durată de reverberație în toată banda de frecvență. În aceste cazuri este indicat să se folosească materiale absorbante care funcționează pe principiul rezonatorilor. De multe ori mobila poate suplini elementele rezonatoare, corijînd astfel alura curbei duratei de reverberație.

Amplasarea dispozitivelor de ascultare constituie o problemă de bază a reproducerilor stereofonice în încăperile de locuit. Astfel, sunetele care ajung la ascultător de la unul dintre difuzoare pot fi întărite datorită reflexiilor provocate de un perete reflectant sau diferite obiecte din încăpere. Situația prezentată în fig. 6.24 este dezavantajoasă pentru audiția stereofonică, perturbînd mult distribuția adevărată a surselor sonore virtuale.

Cu acest dezechilibru sonor nu se va putea realiza o audiție stereofonică bună. Pentru îmbunătățirea audițiilor stereofonice, este necesar să se găsească altă poziție a difuzoarelor, astfel încît, pentru ascultătorul amplasat pe linia de centru, între cele două difuzoare să existe o simetrie acustică. Prin simetrie acustică se înțelege dispunerea în egală măsură a elementelor absorbante și reflectante față de linia mediană a difuzoarelor.

În cazul exemplului dat se poate crea o situație favorabilă audițiilor stereofonice prin amplasarea difuzoarelor în colțul încăperii (fig. 6.25). Este important de reținut că o amplasare bună pentru o audiție stereofonică co-

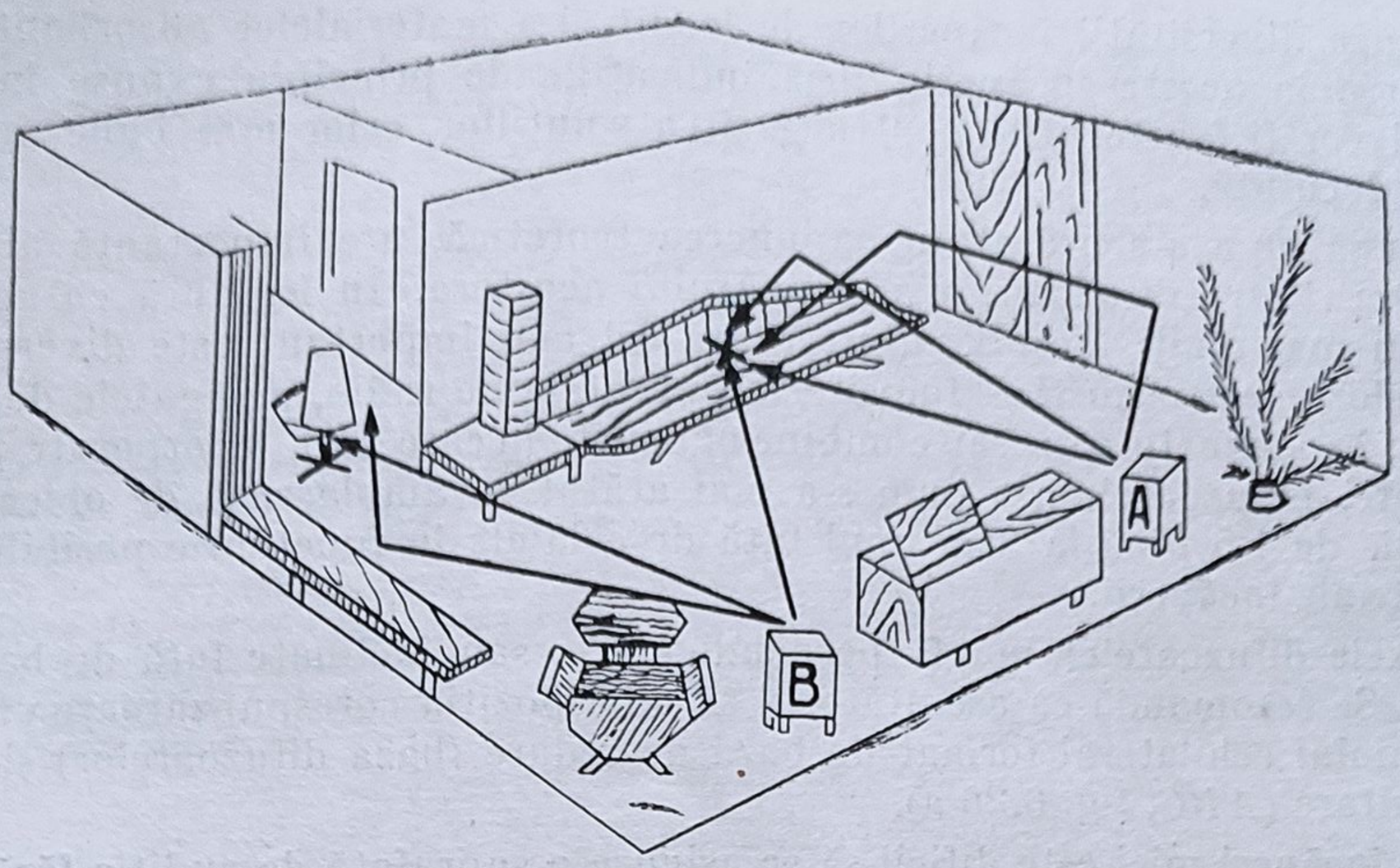


Fig. 6.24. Amplasarea incorectă a dispozitivelor de ascultare într-o încăpere: *A*, *B* — difuzoare; *X* — poziţia ascultătorului.

rectă într-o încăpere, nu poate fi întotdeauna şi corespunzătoare din punct de vedere estetic.

Alte metode de îmbunătăţire a reproducerilor stereofonice în încăperile de locuit conduc la schimbarea condiţiilor acustice ale încăperii, astfel încît să se creeze simetria dorită. De cele mai multe ori este necesar să se apeleze la ambele metode, mutînd difuzoarele în alt amplasament şi schimbînd o serie de obiecte şi mobile, pentru a elimina reflexiile nedorite. După cum se constată în practică, o soluţie cu valabilitate universală nu poate fi dată,

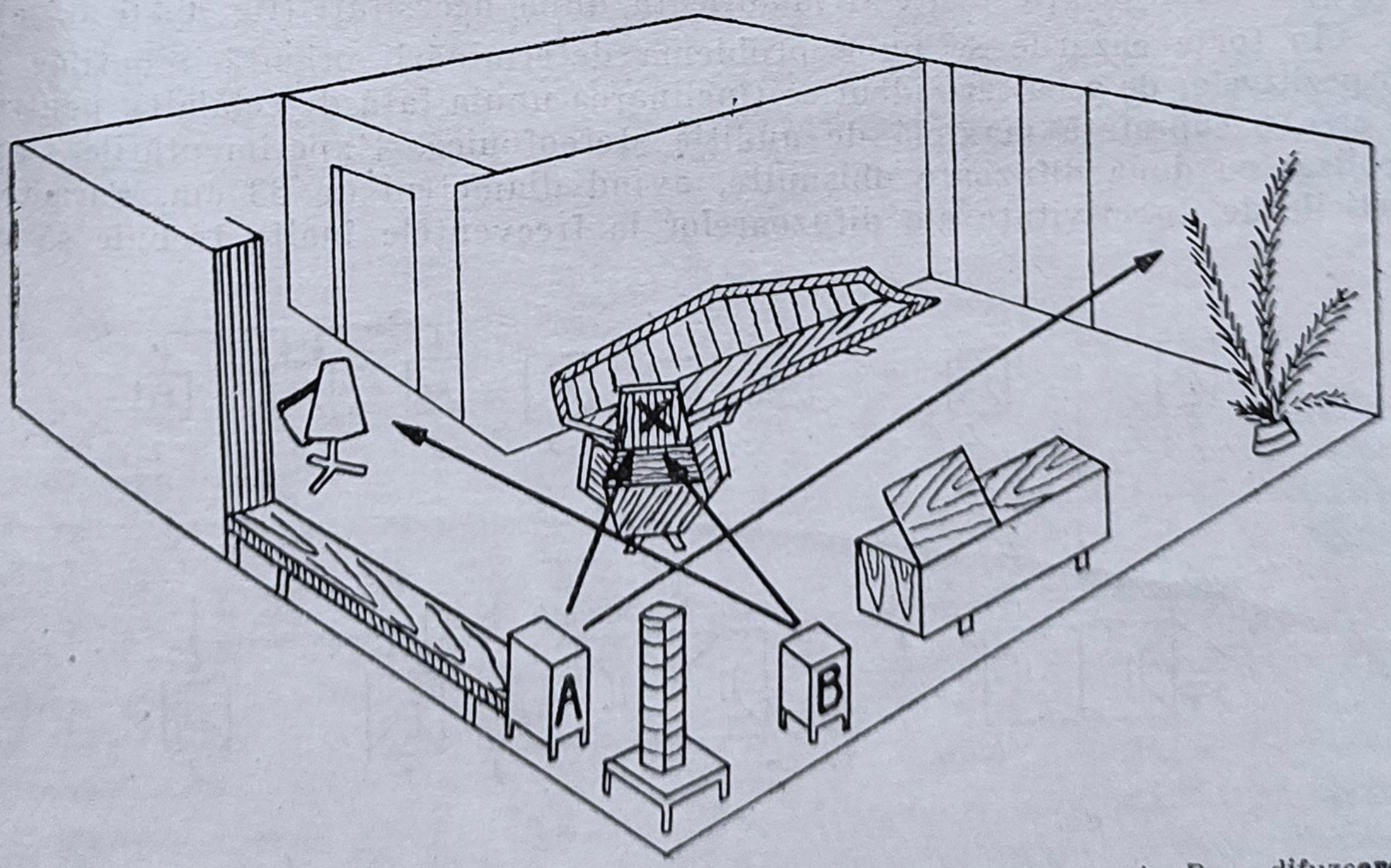


Fig. 6.25. Amplasarea corectă a dispozitivelor de ascultare în încăpere: *A*, *B* — difuzoare; *X* — poziţia ascultătorului.

din cauza diversității încăperilor de locuit și a materialelor absorbante care se găsesc în aceste încăperi ; însă indicațiile de principiu expuse în acest capitol vor fi foarte utile pentru găsirea soluțiilor celor mai bune în orice tip de locuință.

După cum s-a arătat în expunerea teoretică, are importanță alegerea distanței dintre difuzoare și a numărului acestora. În legătură cu aceasta, intervin mai mulți factori, dintre care cel mai important este diversitatea sistemelor electroacustice folosite în aparatele de radio, agregatele de redat discuri, în magnetofoane sau combine muzicale în care sînt încorporate aceste elemente. Difuzoarele așa cum s-a mai arătat se amplasează de obicei la o distanță de 1,5 pînă la 3 m unul față de celălalt în funcție de posibilitățile concrete ale încăperii.

Axele difuzoarelor pot fi perpendiculare, sau înclinate față de baza de redare. Se recomandă ca ascultătorul să aibă poziția corespunzătoare vîrfului triunghiului echilateral format de baza de redare (baza difuzoarelor) și locul de ascultare (*ABC*, fig. 6.26 a).

În încăperi mici este dificil să se asigure o suprafață de audiție fără apariția unui efect supărător, care constă în perceperea sunetelor de la un difuzor mai tare decît de la celălalt. Pentru înlăturarea acestui efect, se folosesc diferite metode, ca de exemplu : unele agregate moderne perfecționate folosesc un al treilea canal central de tipul canalului „fantomă" (fig. 6.26 b — canalul 2).

Alt sistem folosește două difuzoare care redau spectrul sonor în gama de frecvențe medii și înalte (canalele stînga *1* și dreapta *3*), iar un difuzor central 2 redă suma celor două canale la frecvențe joase (fig. 6.26 c). Sistemul care dă rezultate mai slabe este acela care redă pe unul dintre difuzoare toată banda de frecvență (canalul *1* reunit cu *2*), iar pe celălalt banda de frecvențe medii și înalte ale canalului *2* (fig. 6.26 f).

În unele cazuri mobila stereofonică este prevăzută cu elemente reflectante, a căror poziție poate fi modificată după necesități (fig. 6.26 d, e).

În toate cazurile se pune problema determinării orientării optime a dispozitivelor de ascultare identice (înclinarea unuia față de celălalt), pentru a crea o suprafață maximă de audiție stereofonică. Experimentările s-au realizat cu două difuzoare obișnuite, avînd diametrul de 33 cm. Caracteristicile de directivitate ale difuzoarelor la frecvențele înalte trebuie să se

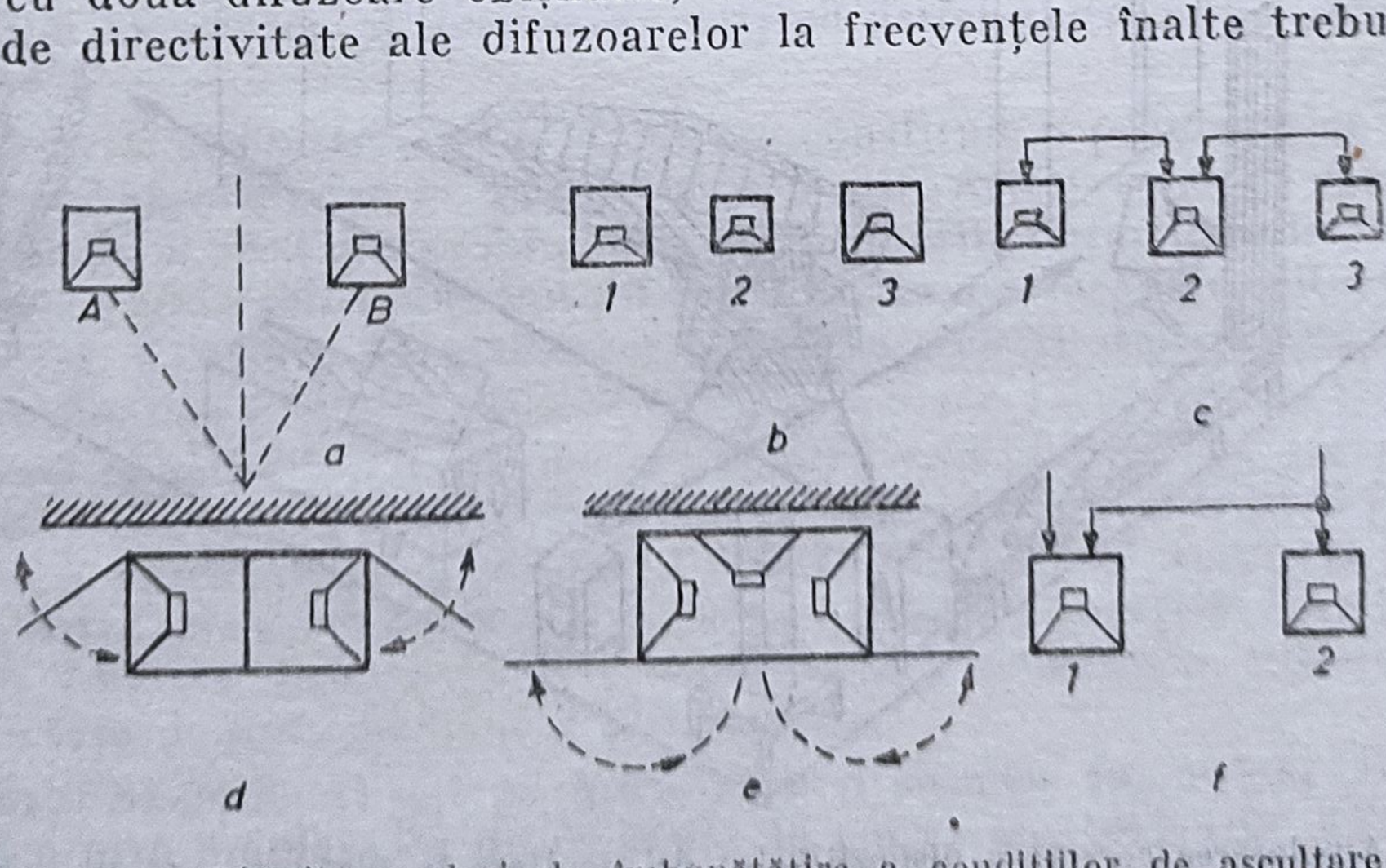
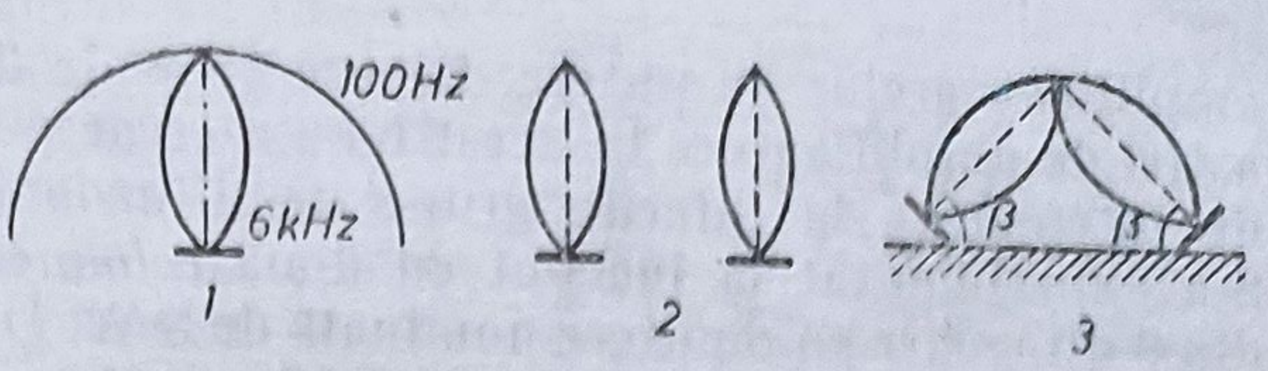


Fig. 6.26. Diferite moduri de îmbunătățire a condițiilor de ascultare stereofonică în încăperi de locuit.



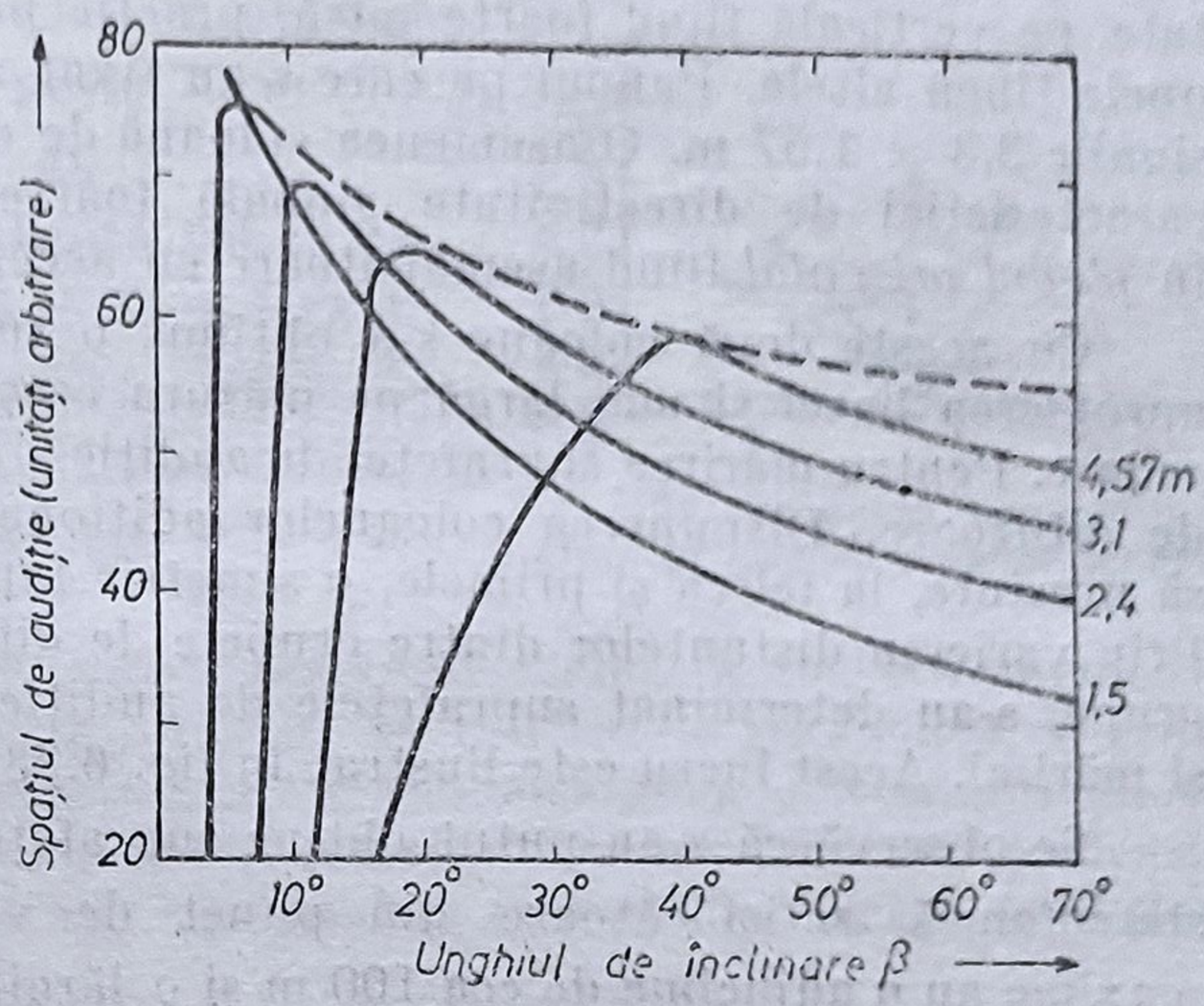


Fig. 6.27. Variația spațiului de percepere a efectului stereofonic în funcție de unghiul de înclinare a dispozitivului de ascultare (β): *1*, *2*, *3* — caracteristicile de directivitate ale difuzoarelor, pentru $f = 6\,000$ Hz și unghiul de înclinare față de peretele pe care sînt montate.

intersecteze pentru a obține rezultate bune. Acest lucru determină orientarea lor pentru a crea suprafața de interferență. În fig. 6.27 sînt reprezentate grafic rezultatele experiențelor pentru obținerea unei suprafețe de audiție maximă în funcție de înclinarea difuzoarelor față de pereți, parametrul fiind distanța între ele.

Din diagramă se observă că există o suprafață maximă a audiției stereofonice atunci cînd aceste difuzoare, avînd anumite distanțe între ele, au înclinări corespunzătoare față de peretele pe care sînt montate. De exemplu, pentru distanța de 2,4 m, unghiul care trebuie ales este de 15°.

Aceste rezultate pot servi ca bază în vederea amenajării încăperii pentru reproduceri stereofonice.

6.5. REPRODUCEREA STEREOFONICĂ ÎN AER LIBER

În multe situații se pune problema prezentării unor spectacole de operă, teatru sau varietăți muzicale pe scene situate în aer liber. Această cerință a impus studierea condițiilor optime de audiție stereofonică în aceste condiții. Dintre factorii cei mai importanți care influențează o reproducere stereofonică de sunet în aer liber, sînt cei climatici (temperatura, vîntul, umiditatea). Factorii climatici pot altera sunetul redat prin difuzoare, pot modifica intensitatea acestuia, sau, pot produce neuniformitate în cîmpul sonor reprodus. De remarcat că anumiți factori care influențau în mod pozitiv reproducerile stereofonice în încăperi, cum ar fi, de exemplu, reflexiile, lipsesc în acest caz.

Pentru stabilirea unor concluzii utile în legătură cu posibilitățile reproducerii stereofonice în aer liber s-au făcut experiențe pe un cîmp deschis, cu o suprafață suficient de mare. S-au folosit coloane de difuzoare așezate pe un zid. Un agregat de redat discuri stereofonice s-a conectat la intrarea

amplificatoarelor de putere, fiecare grup de difuzoare fiind alimentat de un astfel de amplificator. În acest fel s-a creat posibilitatea de a se regla nivelul de intensitate la diferite grupe de difuzoare independent unele de altele. S-a experimentat la început cu două *coloane* de difuzoare, fiecare compusă din 6 difuzoare cu o putere nominală de 8 W. Distanța între difuzoarele montate pe verticală fiind foarte mică, practic puteau fi considerate ca așezate unele lîngă altele. Panoul pe care s-au fixat aceste difuzoare a avut dimensiunile 3,8 × 1,57 m. O asemenea coloană de difuzoare permite obținerea unei caracteristici de directivitate globală foarte ascuțită în *planul vertical*, în *planul orizontal* fiind asemănătoare cu aceea a unui singur difuzor.

Cu aceste două coloane s-a obținut o suprafață de audiție îngustă în apropierea bazei și mai largă pe măsura creșterii distanței față de baza de redare. Pentru mărirea suprafeței de audiție stereofonică s-au adăugat coloane de difuzoare. Dispunerea coloanelor adiționale a fost astfel stabilită încît să prezinte, la fel ca și primele, o simetrie față de axa suprafeței de audiție. Prin varierea distanțelor dintre grupele de difuzoare și a orientării anumitor grupe, s-au determinat suprafețele de audiție stereofonică cu diferite forme și mărimi. Acest lucru este ilustrat în fig. 6.28.

Se observă că s-au putut obține suprafețele destul de mari cu o audiție stereofonică satisfăcătoare din punct de vedere al calității. Suprafețele maxime au o adîncime de cca 100 m și o lărgime mai mare de 100 m.

De remarcat că mărimea acestora este condiționată nu numai de lărgimea bazei de redare ci și de puterea electrică a grupelor de difuzoare. Astfel, suprafața delimitată de curba *1* este obținută cu două grupe de difuzoare situate la o distanță de 4 m față de axa suprafeței sonorizate și orientate perpendicular pe linia de bază. Prin adăugarea a două coloane distanțate a 7 m față de axă și orientate la fel ca primele s-a mărit în adîncime supra-

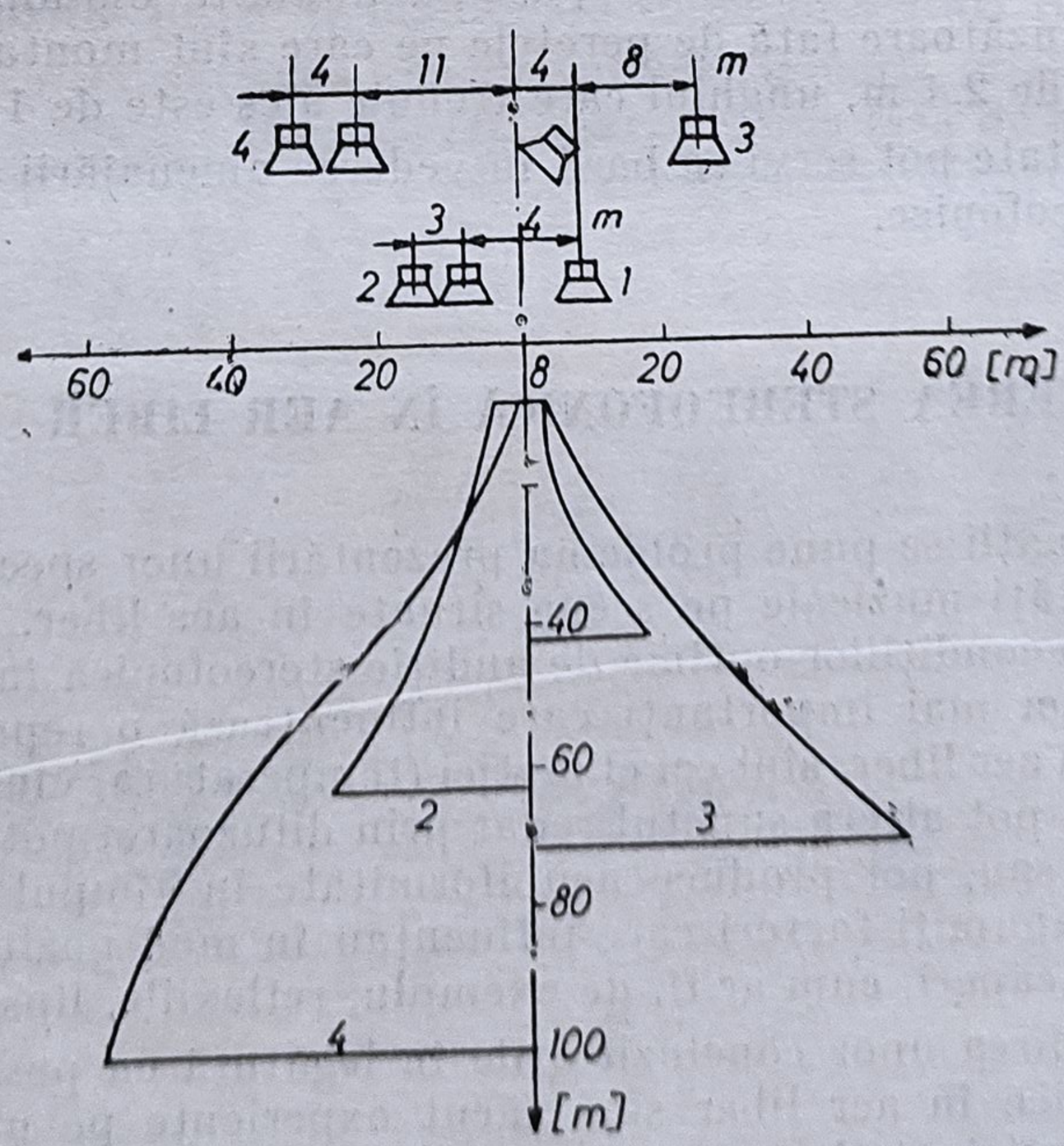


Fig. 6.28. Delimitarea zonelor de audiție stereofonică în aer liber.

fața de audiție stereofonică (curba 2). Pentru a lărgi și mai mult această suprafață, s-au încercat încă două variante. Prima variantă constă în deplasarea coloanelor de difuzoare astfel încît să fie la 12 m față de axă și din dirijarea spre axa suprafeței a grupelor de difuzoare situate la 4 m. În acest fel s-a obținut o suprafață cu o adîncime de peste 70 m și o lățime de peste 100 m (curba *3*).

A doua variantă a fost realizată tot cu coloane duble, primele amplasate la 11 m față de axă și celelalte două la 15 m. Suprafețele de audiție în acest caz s-au mărit considerabil, ajungîndu-se la o adîncime de 100 m și o lățime de circa 120 m (curba *4*).

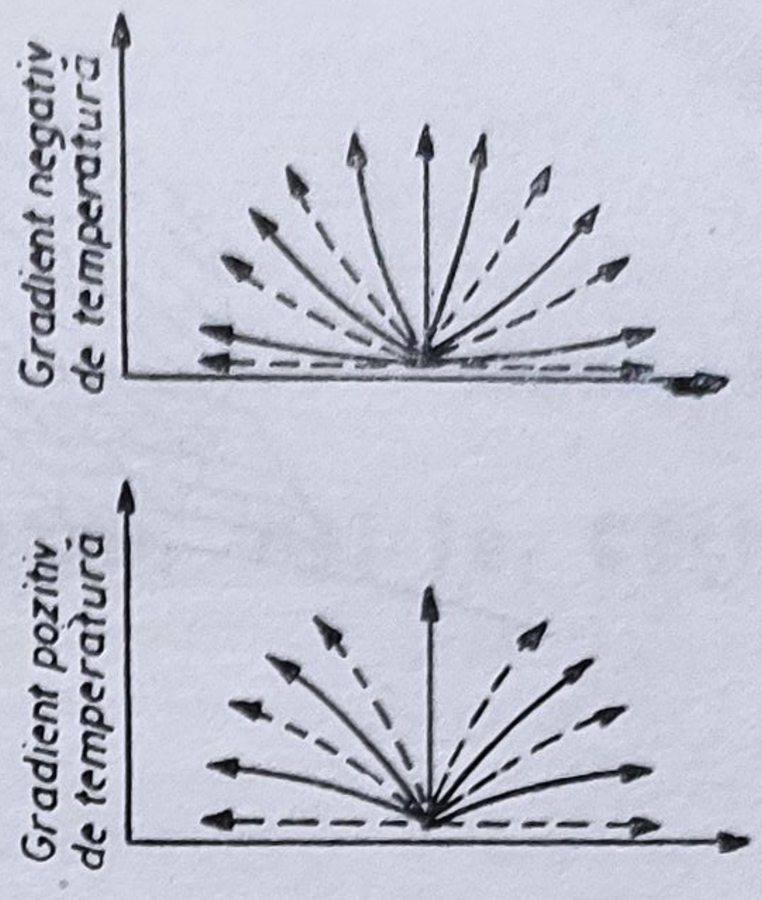


Fig. 6.29. Influența temperaturii asupra propagării undelor sonore.

La efectuarea acestor experimente s-a ținut seama de factorii climatici. Unul dintre acești factori este *temperatura*. În funcție de gradientul de temperatură, se produce o înclinare mai mare sau mai mică a frontului undei sonore. Înclinarea se datorește refracției undelor sonore provocată de densitățile diferite ale straturilor de aer. Ca rezultat al acestor refracții se obține o curbare a fascicolului sonor.

În fig. 6.29 sînt reprezentate cazurile pentru gradienții pozitivi și negativi de temperatură. Se observă că un gradient pozitiv de temperatură este favorabil pentru reproduceri de sunet în aer liber, pe cînd gradientul negativ, este defavorabil sonorizărilor, deoarece provoacă o ridicare a fasciculului sonor.

Vîntul este al doilea factor de care trebuie să se țină seama la reproducerea stereofonică a sunetului în aer liber. Astfel în determinarea suprafeței de audiție trebuie avut mereu în vedere unghiul dintre direcția de propagare a frontului de undă sonoră și aceea a vîntului. S-a observat că atît timp cît vîntul are același sens cu sensul de propagare a frontului undei nu se produce o modificare a suprafeței de ascultare. Același lucru este valabil (cu o anumită aproximație) pentru un sens al vîntului contrar celui de propagare. Constatările s-au făcut pentru diferite intensități ale vîntului, mergînd pînă la 100 km/oră (gradul 5—6).

Suprafața se micșorează cu circa 5%, foarte puțin, cînd vîntul are sens opus. Modificări substanțiale s-au constatat însă în cazul cînd direcția vîntului este *perpendiculară* pe aceea a propagării sunetului. La un vînt de tăria 6, se produce o deplasare cu circa 15% a suprafeței de audiție stereofonică în direcția vîntului.

În sfîrșit, un alt factor este *umiditatea*. În aer se produce o absorbție de energie sonoră, care crește cu atît mai mult cu cît aerul conține o cantitate mai mare de vapori de apă și cu cît temperatura este mai mare. De asemenea, absorbția de sunet este sensibil mai mare la frecvențe înalte. Astfel, la o umiditate de 5%, o temperatură de 10°C și pentru frecvența de 15 000 Hz, coeficientul de absorbție are valoarea $5 \cdot 10^{-4}$. Ridicarea temperaturii cu încă 10° produce dublarea coeficientului de absorbție. Acesta este motivul pentru care pe timp de ceață sunetele se aud mai înfundate.

Ținînd cont de toate constatările experimentale de mai sus se pot realiza, în practică, sonorizări stereofonice în aer liber de calitate foarte bună. În

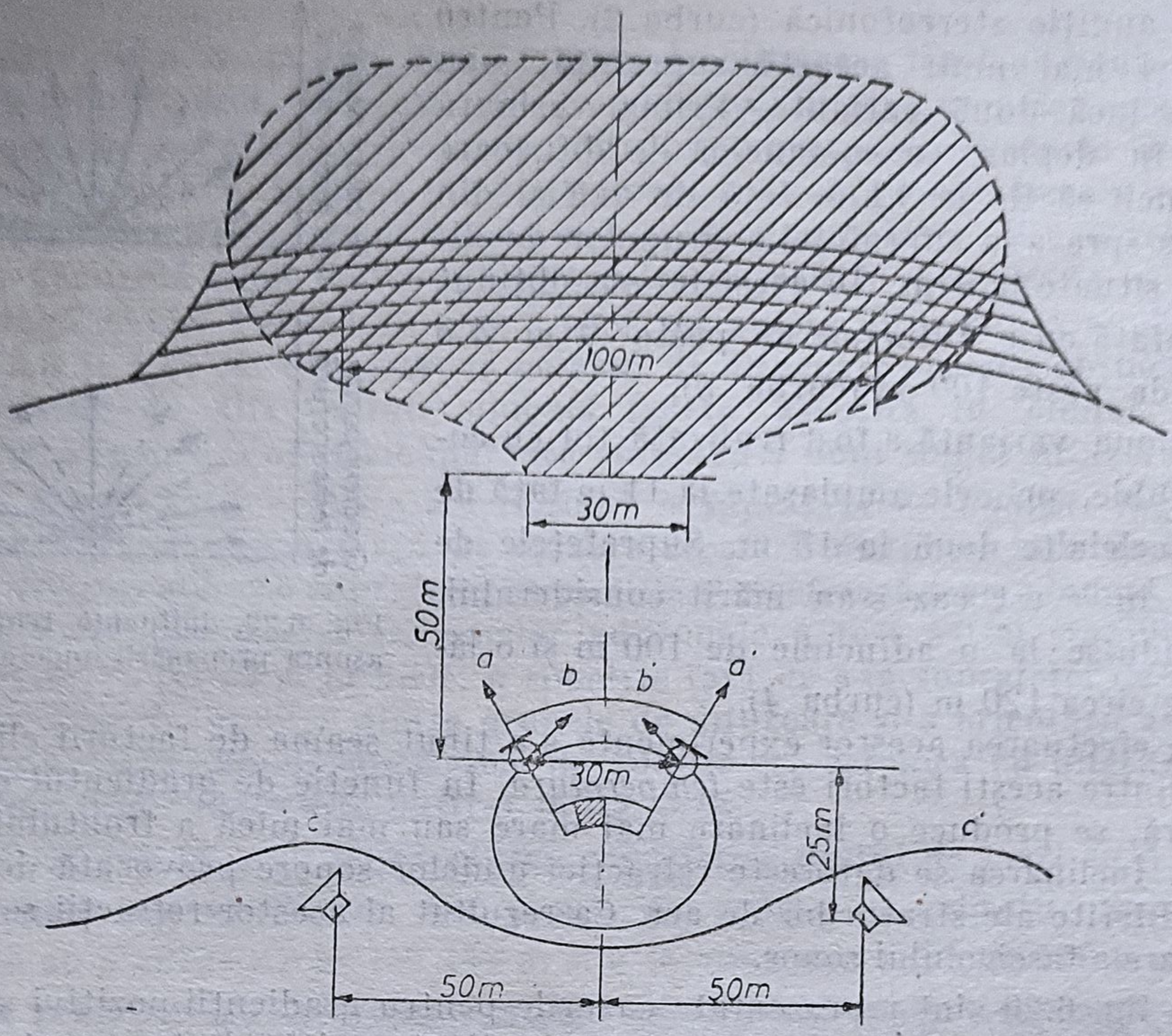


Fig. 6.30. Amplasarea coloanelor de difuzoare și delimitarea zonei de percepere stereofonică.

fig. 6.30 este reprezentată schița de amplasament a coloanelor de difuzoare și limitele zonei de audiție stereofonică pentru un spațiu destinat unui spectacol. Puterea electrică instalată este de 600 W, suprafața de audiție stereofonică are forma unui trapez cu baza mică de circa 30 m și baza mare de circa 100 m.

Coloanele de difuzoare sînt amplasate astfel :

— două coloane (a, a') montate la o distanță de 15 m față de axă și orientate ca în figură ;

— două coloane (b, b') montate la aceeași distanță, însă orientate spre axul de simetrie al suprafeței de ascultare ;

— două coloane (c, c') situate la circa 50 m față de axa de simetrie și la circa 25 m în spatele celorlalte coloane. Coloanele de difuzoare (a, a') și (b, b') sînt montate în fața scenei.

Capitolul 7

Difuzoare, incinte, căşti

Echipamentul de ascultare este un ansamblu format dintr-unul sau mai multe incinte acustice specializate pe domenii de frecvenţă, cu unul sau mai multe amplificatoare de putere asociate, destinate reproducerii unui singur semnal.

Incinta acustică este formată dintr-un sistem de difuzoare montate într-o cutie (incintă) cu proprietăţi acustice precizate.

Sistemul de difuzoare este un ansamblu emiţător de sunet, constituit din unul sau mai multe difuzoare (radiatoare) prevăzute cu dispozitive acustice şi electrice pasive (filtre). Difuzorul combinat sau multiplu este un exemplu de sistem de difuzoare.

Difuzorul este elementul cel mai important al unui echipament de ascultare care trebuie să reproducă sunetul cît mai aproape de condiţiile reale. Aceasta înseamnă să acopere toată banda de frecvenţă şi toată gama dinamică a sunetelor perceptibile de către urechea normală şi în plus să asigure puteri acustice radiate cît mai mari, pentru a acoperi spaţii cît mai întinse.

Pentru reproducerea sunetului în condiţii de înaltă fidelitate, echipamentul de ascultare are o mare importanţă şi de aceea este necesar să fie cunoscute elementele sale componente, principiile de alegere şi selecţionare a acestora şi modalităţile prin care se pot aduce îmbunătăţirile dorite de fiecare ascultător.

7.1. DIFUZOARE

Difuzorul este un *transductor electroacustic*, fără dispozitive acustice şi electrice anexe, care transformă energia electrică de audiofrecvenţă în energie acustică, pe care o radiază în mediul ambiant. Deoarece este o sursă de sunet, se mai numeşte şi *radiator acustic*. Randamentul transformării este foarte scăzut. Dintre toate transductoarele, el pune problemele cele mai dificile, atît din punct de vedere al fidelităţii, cît şi din punctul de vedere al gabaritului şi al preţului de cost. Astfel, microfoanele se pot realiza cu diametrul de 10—20 mm cu o fidelitate foarte bună, pe cînd difuzoarele, chiar cu un diametru de 40—50 mm au un randament şi o fidelitate foarte slabe. De asemeni, microfoanele nu sînt necesare într-un număr mare, ceea ce face ca preţul lor de cost să nu aibă o importanţă esenţială. În schimb, fiecare echipament de reproducere a sunetului necesită cel puţin un difuzor

și considerațiile economice devin foarte importante. Difuzoarele se folosesc ca elemente finale în sistemele de redare a sunetului, începînd de la cele mai simple (magnetofoane, radioreceptoare) și pînă la instalațiile complexe de sonorizare a marilor săli.

Cu toate progresele făcute în tehnică, în general, principiile esențiale ale difuzoarelor nu s-au modificat. Pentru fiecare element component există o multitudine de variante, ceea ce arată lipsa unei soluții ideale și necesitatea alegerii unei rezolvări de compromis, adaptabilă cel mai bine la mijloacele și procedeele tehnologice de care se dispune la momentul respectiv într-o anumită uzină.

Construcția unui difuzor necesită numeroase cunoștințe tehnice și, deoarece nu toate elementele lui pot fi calculate, de multe ori este necesară o îndelungată experiență pentru a se obține elemente optime.

7.1.1. CLASIFICAREA DIFUZOARELOR

Clasificarea difuzoarelor se poate face din mai multe puncte de vedere. Astfel, *din punctul de vedere al cuplajului electromagnetic,* o clasificare a difuzoarelor trebuie să țină seama de faptul că forțele mecanice pot fi produse de acțiunea cîmpului electric sau de interacțiunea cîmpurilor magnetice cu curenții electrici.

Din prima categorie fac parte difuzoarele *piezoelectrice* și *electrostatice.* Din cea de a doua categorie fac parte difuzoarele *electromagnetice, electrodinamice* și *magnetostrictive.* Difuzoarele magnetostrictive și în oarecare măsură cele piezoelectrice sînt întrebuințate numai pentru producerea *ultrasunetelor.*

Forțele mecanice de acționare pot fi proporționale fie cu tensiunea electrică care alimentează difuzorul, fie cu curentul electric, fie cu cantitatea de electricitate, fie, în fine, cu fluxul magnetic, așa cum se arată în tabelul următor.

Tabelul 7.1

Tipul difuzorului	Mărimea cu care este proporțională forța mecanică	Cauza care produce forța mecanică
Piezoelectric	Tensiunea electrică	Acțiunea cîmpurilor electrice asupra sarcinilor electrice
Electrostatic	Cantitatea de electricitate	
Electrodinamic	Curentul	Interacțiunea cîmpurilor magnetice cu curenții electrici
Electromagnetic	Curentul	
Magnetostrictiv	Fluxul magnetic	

Din punctul de vedere al transformării mecanoacustice (al radiatorului), difuzoarele pot fi împărțite în mai multe clase :

— difuzoare cu radiație directă, la care membrana radiază direct în aer ;

— difuzoare cu pîlnie, la care elementul radiant este cuplat cu aerul printr-o pîlnie ;

— difuzoare fără radiator (ionofonul și difuzorul cu efect Corona).

În principiu, la oricare tip de difuzor se poate ataşa o pîlnie. Eficacitatea acesteia depinde de raportul secţiunilor gîtului şi gurii pîlniei, de lungimea pîlniei etc.

7.1.2. TIPURI DE DIFUZOARE

A. Difuzorul electromagnetic

Acest tip de difuzor a fost utilizat pe scară foarte largă. Mecanismul unui difuzor electromagnetic cu armătură vibrantă simplă se compune dintr-un magnet permanent de care este fixată o armătură de fier, moale, elastică (fig. 7.1). Între unul din polii magnetului, de exemplu polul nord, şi armătura elastică, datorită acţiunii pe care o exercită un cîmp magnetic asupra unui material feromagnetic, se naşte o forţă de atracţie. Dacă în bobina montată pe magnet circulă un curent alternativ de audiofrecvenţă, în funcţie de sensul acestui curent, fluxul dat de bobină se va aduna sau se va scădea din fluxul magnetic total.

Deci şi forţa de atracţie va fi mai mare sau mai mică, iar armătura elastică va începe să vibreze şi, fiind legată de o membrană, o va pune pe aceasta în mişcare. Se produc în acest mod unde acustice.

O perfecţionare adusă acestui tip de difuzor se poate vedea în fig. 7.2. În lipsa unui curent alternativ, armătura mobilă de fier este în echilibru, deoarece forţele de atracţie dintre armătură şi piesele polare sînt egale şi de sens contrar. Dacă în bobină circulă un curent, fluxul suplimentar produs de acesta va face ca forţele de atracţie să devină neegale şi deci armătura şi va înclina într-un sens.

Dacă se inversează sensul curentului, fluxul îşi va schimba şi el sensul şi armătura se va înclina în sens invers. Dacă în bobină circulă un curent de audiofrecvenţă, armătura va începe să vibreze în acelaşi timp ca şi acesta şi va acţiona în acelaşi timp membrana care va radia unde acustice.

Difuzorul electromagnetic are un randament destul de bun şi un preţ de cost destul de redus. Din această cauză el a fost utilizat aproape în exclusivitate la echiparea primelor radioreceptoare. Astăzi, datorită faptului că acest difuzor nu poate reproduce o bandă largă de frecvenţe (în special frec-

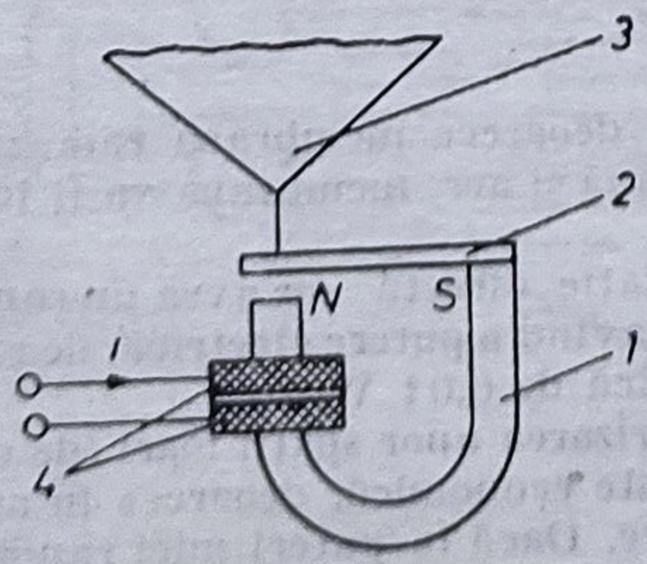


Fig. 7.1. Difuzor electromagnetic cu armătură vibrantă simplă: *1* — magnet; *2* — armătură; *3* — membrană; *4* — bobină.

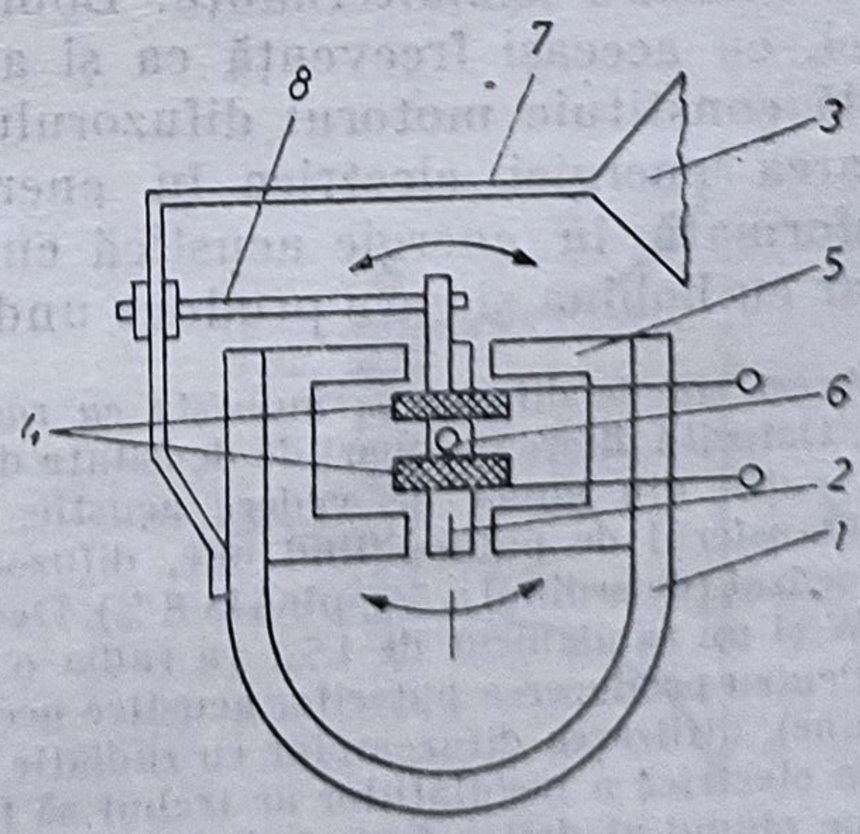


Fig. 7.2. Difuzor electromagnetic cu armătură echilibrată: *1* — magnet; *2* — armătură; *3* — membrană; *4* — bobine; *5* — piese polare; *6* — pivot; *7* — tije; *8* — pîrghii.

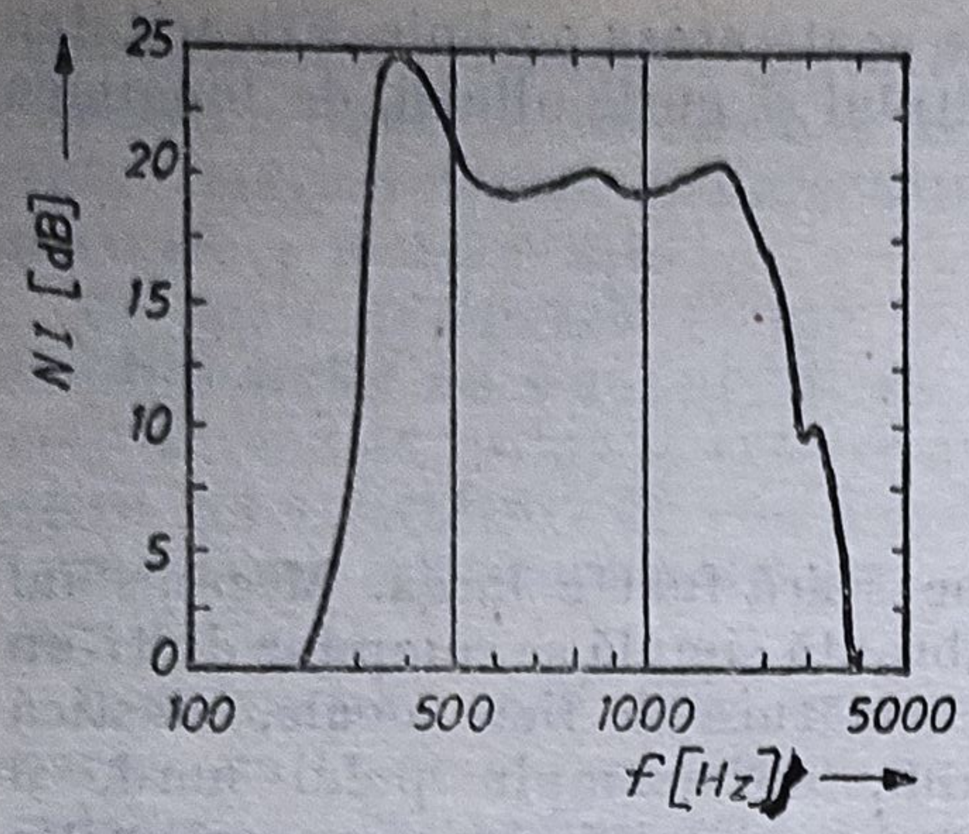


Fig. 7.3. Caracteristica de frecvență a unui difuzor electromagnetic.

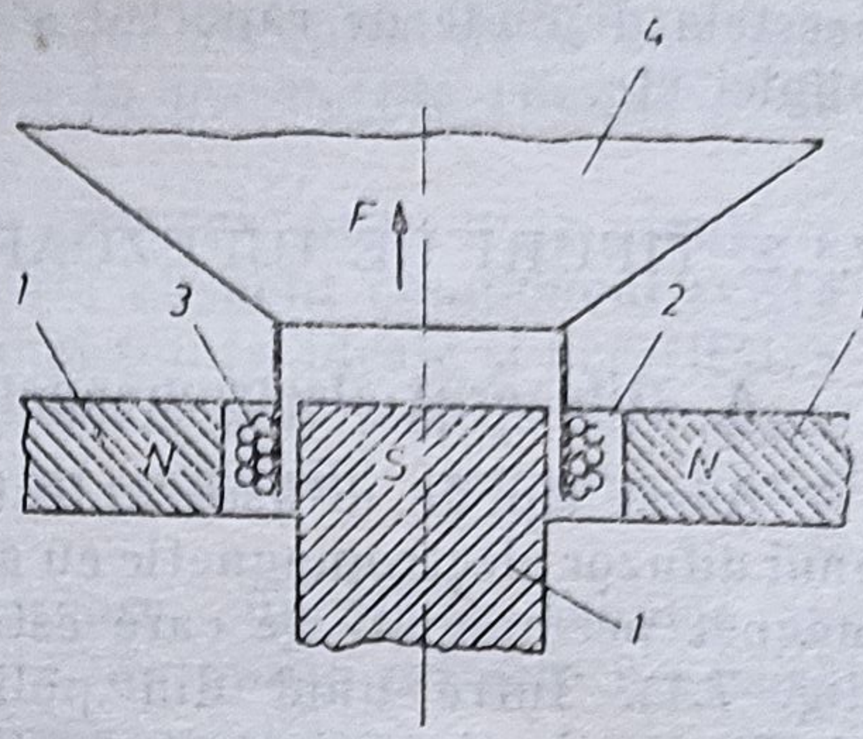


Fig. 7.4. Principiul de funcționare al difuzorului cu bobină mobilă: *1* — piese polare; *2* — întrefier; *3* — bobină mobilă; *4* — membrană.

vențele joase mai mici de 200 Hz) și deoarece prezintă rezonanțe parazite (datorită armăturii mobile) și distorsiuni relativ mari, se utilizează foarte puțin (fig. 7.3).

B. Difuzorul electrodinamic

Deși acest tip de difuzor a fost realizat pentru prima dată în anul 1889, el nu s-a impus decît în ultimii 40—50 de ani. În momentul de față difuzorul electrodinamic este universal acceptat și echipează mai toate receptoarele de radio și TV.

Principiul de funcționare se bazează pe acțiunea forțelor dinamice asupra unui conductor parcurs de un curent, cînd acesta se află într-un cîmp magnetic. Astfel, dacă într-o bobină care se poate mișca liber într-un cîmp magnetic radial constant trece un curent, paralel cu axa bobinei ia naștere o forță care acționează asupra acesteia.

Dacă prin bobină circulă un curent alternativ, forța este în orice moment proporțională cu valoarea instantanee a intensității curentului și își schimbă sensul la fiecare semialternanță. Bobina se va mișca deci între fier paralel cu axa ei, cu aceeași frecvență ca și a curentului care o traversează. Bobina mobilă constituie motorul difuzorului, adică dispozitivul care asigură transformarea energiei electrice în energie mecanică. Energia mecanică este transformată în energie acustică cu ajutorul unei membrane conice, legată solidar cu bobina și care produce unde acustice.

Acest tip de difuzor se numește *cu radiație directă*, deoarece membrana radiază direct în aer. Datorită diferenței mari de densitate dintre membrană și aer, membrana va fi încărcată foarte puțin din punct de vedere acustic.

Transferul de putere fiind mic, difuzoarele cu radiație directă vor avea un randament foarte scăzut (de ordinul a 5% pînă la 8%). Deci, un difuzor avînd o putere electrică, de exemplu, de 4 W și un randament de 1%, va radia o putere acustică de 0,04 W.

Pentru producerea puterilor acustice necesare la sonorizarea unor spații mari (de exemplu stadioane), utilizarea difuzoarelor cu radiație directă nu este economică, deoarece în acest caz puterea electrică a instalațiilor ar trebui să fie foarte mare. Dacă la puteri mici randamentul trece pe planul al doilea față de liniaritatea în bandă, la puteri mari, realizarea unui randament ridicat este o necesitate tehnico-economică. În acest caz se vor utiliza *difuzoare cu pîlnie*, care se deosebesc de difuzoarele cu radiație directă prin modul de cuplaj cu aerul, cuplaj care se realizează prin intermediul pîlniei.

O *pîlnie acustică* este construită dintr-un tub cu secțiune continuu variabilă. În funcție de modul cum variază această secțiune pîlniile pot avea diferite forme: exponențială, para-

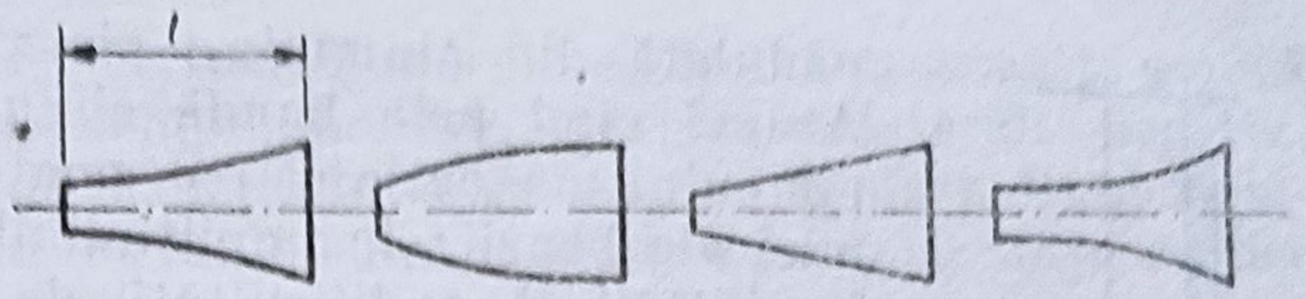


Fig. 7.5. Pîlnie : *a*) exponențială ; *b*) parabolică ; *c*) conică ; *d*) hiperbolică.

bolică, conică, hiperbolică (fig. 7.5). Capătul pîlniei cu secțiunea cea mai mică se numește „gîtul" pîlniei iar capătul cu secțiunea cea mai mare „gura" pîlniei.

Pîlniile cu deschidere bruscă nu redau bine frecvențele joase. Din această cauză, pentru redarea frecvențelor joase sînt necesare pîlnii cu deschidere lentă ; lungimile pîlniilor pot ajunge astfel foarte mari.

Pentru ca difuzorul să nu ocupe un spațiu prea mare se poate utiliza o construcție concentrică, așa cum se vede în fig. 7.6. Din gîtul pîlniei, unde acționează membrana, mișcarea se transmite progresiv către gură, punîndu-se astfel în vibrație mase din ce în ce mai mari de aer, pe măsură ce diametrul crește. În acest caz se realizează o lungime efectivă a pîlniei de aproximativ trei ori mai mare decît lungimea exterioară a întregului difuzor cu pîlnie. Cu ajutorul pîlniei se produce o transformare și o adaptare de impedanță acustică și randamentul poate crește pînă la valori de ordinul 50% sau chiar mai mult.

Puterea electrică de audiofrecvență poate fi de 50 de ori mai mică decît în cazul difuzoarelor cu radiație directă. Difuzoarele de diverse tipuri pot fi utilizate cu pîlnie pentru creșterea randamentului. Trebuie să remarcăm că difuzoarele cu pîlnie nu pot da o reproducere de bună calitate, ca cele cu radiație directă ; pentru redarea frecvențelor joase de ordinul a 50 Hz ar fi necesare lungimi ale pîlniilor foarte mari (4—6 m) ceea ce este neeconomic și greu de realizat practic.

S-a arătat că la difuzoarele uzuale forța motoare se aplică vîrfului membranei, prin intermediul bobinei mobile. Membrana acționată în acest fel se deplasează ca un piston înainte și înapoi. Acest mod de lucru, valabil pentru frecvențe joase, nu mai este valabil pentru frecvențe înalte unde, datorită faptului că membrana are diverse moduri de vibrații, caracteristica de frecvență capătă o alură foarte neregulată. Există diverse sisteme care remediază acest defect principal al difuzorului electrodinamic cu bobină, de a aplica forța într-un singur punct al membranei.

Astfel, la *difuzorul cu bandă* (fig. 7.7) forța se aplică uniform asupra tuturor punctelor benzii care radiază. Acest difuzor se compune dintr-o bandă

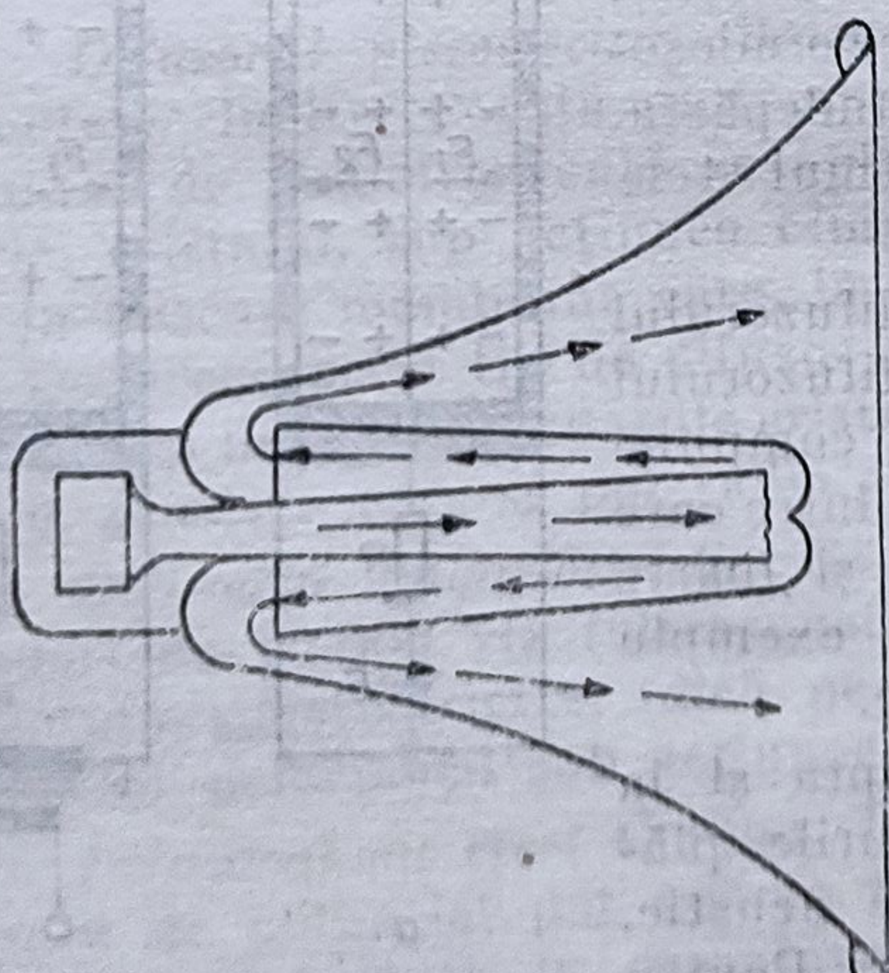


Fig. 7.6. Difuzor cu pîlnie concentrică.

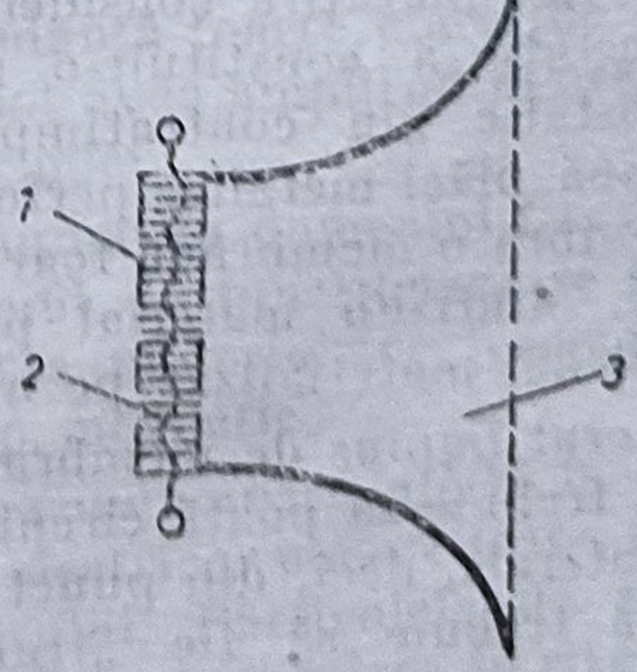


Fig. 7.7. Principiul de funcționare al difuzorului electrodinamic cu bandă : *1* — plese polare ; *2* — bandă mobilă ; *3* — pîlnie.

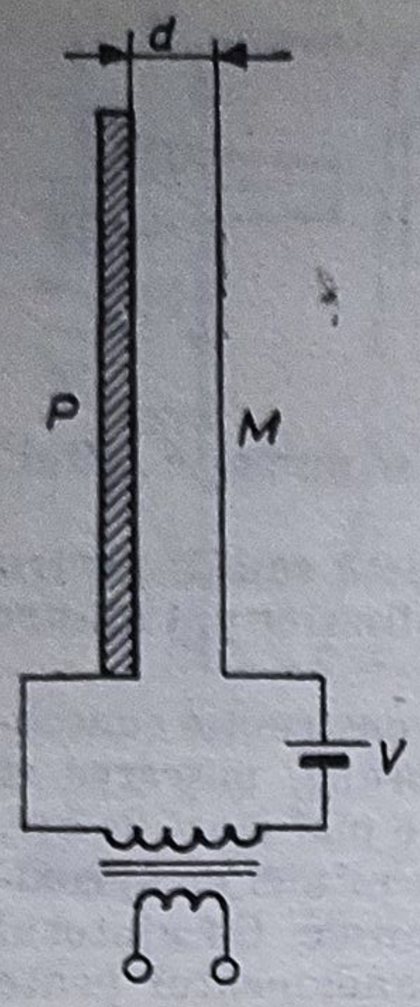


Fig. 7.8. Principiul de funcționare al difuzorului electrostatic.

ondulată din aluminiu, plasată într-un cîmp magnetic. Atunci cînd prin bandă circulă un curent, sub acțiunea cîmpului magnetic ea se poate mișca liber. Dimensiunile mici ale benzii și amplitudinile mici permise (din cauza fragilității ei, a dificultății de a obține un cîmp magnetic omogen într-un întrefier suficient de mare) limitează aplicațiile acestui difuzor numai la frecvențele înalte (mai mari de 3 000 Hz). Chiar și în acest caz, pentru a mării randamentul difuzorului trebuie să se utilizeze o pîlnie exponențială sau hiperbolică.

C. Difuzorul electrostatic

În ultimul timp, difuzorul electrostatic a început să fie folosit pe scară largă, obținîndu-se performanțe foarte bune. Principiul de funcționare al difuzorului electrostatic se bazează pe atracția sarcinilor electrice de semn contrar, respectiv respingerea sarcinilor de același semn. În fig. 7.8 se prezintă schematic cel mai simplu difuzor electrostatic.

El este compus dintr-o membrană subțire și conductoare *M*, așezată față în față cu o placă de metal rigidă *P*. Membrana și placa formează cele două armături ale unui condensator. Dacă între aceste două armături (electrozi) se conectează o baterie, membrana și placa se vor încărca cu electricitate de sens contrar. Între ele ia naștere o forță statică de atracție, deci membrana se va apropia de placă și va fi tensionată mecanic. Semnalul de audiofrecvență este aplicat difuzorului electrostatic prin intermediul unui transformator. Tensiunea alternativă se va suprapune peste cea continuă. La o creștere a tensiunii aplicate electrozilor corespunde o micșorare a distanței dintre aceștia. În semiperioada următoare se va produce o micșorare a tensiunii și deci electrozii se vor îndepărta. Prin urmare membrana va vibra în ritmul tensiunii de audiofrecvență.

O îmbunătățire considerabilă a difuzorului electrostatic a constituit-o apariția difuzorului electrostatic „în contratimp". El se compune din două plăci metalice perforate, fixe, între care poate vibra o membrană foarte subțire și foarte ușoară, dintr-un material plastic (de exemplu polietilenă) materializat pe ambele fețe.

Aerul împins de membrană la dreapta și la stînga trebuie să poată circula prin găurile plăcilor laterale, deci, din punct de vedere acustic, acestea trebuie să fie „transparente". Pentru aceasta suprafața găurilor trebuie să reprezinte cel puțin 30% din întreaga suprafață a plăcii. Între plăcile laterale și membrana centrală se aplică o tensiune continuă *E* (fig. 7.9 a) prin

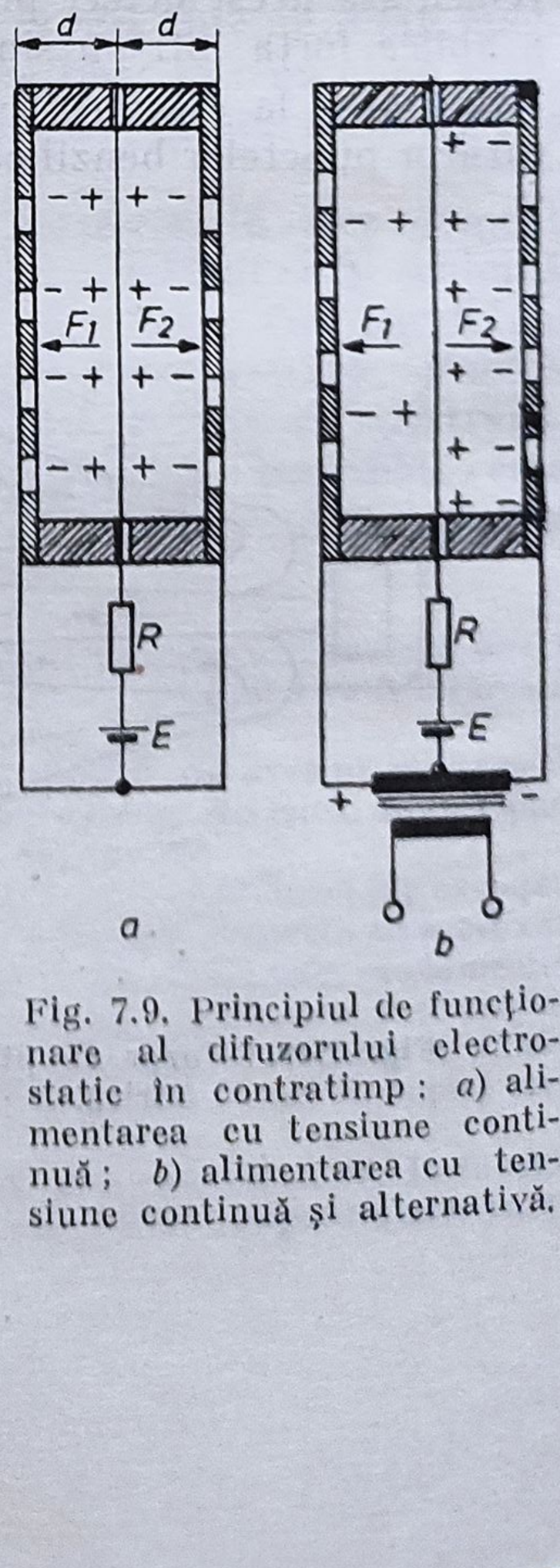


Fig. 7.9. Principiul de funcționare al difuzorului electrostatic în contratimp: *a*) alimentarea cu tensiune continuă; *b*) alimentarea cu tensiune continuă și alternativă.

intermediul unei rezistențe R de foarte mare valoare. Din această cauză membrana se va încărca, de exemplu pozitiv, iar plăcile laterale, negativ. În acest fel iau naștere forța de atracție între membrană și plăci. Dacă membrana este așezată la mijlocul distanței dintre plăci, cele două forțe statice F_1 și F_2 care au luat naștere, fiind egale și de sens opus, nu vor avea nici un efect asupra membranei, care va rămîne nemișcată. Dacă peste tensiunea continuă se aplică o tensiune alternativă (fig. 7.9 b) sarcinile electrice se vor redistribui și cele două forțe nu vor mai fi egale.

În cazul polarității arătate în figură, forța F_2 va fi mai mare decît F_1, deci membrana se va deplasa spre dreapta. În perioada imediat următoare, cînd tensiunea alternativă își va schimba sensul, adică va fi cu — (minus) la stînga și + (plus) la dreapta, membrana se va deplasa spre stînga. În acest fel se va urmări semnalul electric alternativ.

Difuzorul electrostatic prezintă cîteva avantaje :

— forța de acționare se aplică întregii suprafețe a membranei ; masa membranei este foarte mică și din această cauză aceasta nu va avea inerție la frecvențele înalte, pe care le poate reproduce în condiții foarte bune ;

— caracteristica de frecvență nu are neuniformități mari ca la celelalte tipuri de difuzoare ;

— distorsiunile de neliniaritate sînt foarte mici.

Dezavantajele acestui tip de difuzor constau în încărcarea acustică a membranei la frecvențele joase și în dificultatea adaptării la amplificator a sarcinii capacitive prezentate în difuzor. Datorită acestor cauze, realizarea unui difuzor care să reproducă și frecvențele joase, în stadiul actual, este destul de dificilă ; rezultă dimensiuni foarte mari pentru difuzor iar amplificatorul de putere trebuie să fie de foarte bună calitate și destul de mare.

Deoarece difuzorul electrostatic reproduce foarte bine frecvențele înalte (mai mari decît 1000 Hz) el se folosește frecvent pentru reproducerea părții superioare a spectrului sonor.

D. **Difuzoare folosite în scopuri speciale**

1. *Difuzorul piezoelectric.* Este folosit în special pentru reproducerea frecvențelor înalte. Constă dintr-un cristal piezo legat rigid cu o membrană. Tensiunea de audiofrecvență se aplică cristalului ; datorită efectului piezoelectric, cristalul, sub acțiunea cîmpului electric alternativ, va vibra și va pune în mișcare membrana care, la rîndul ei, va radia unde acustice în aer liber. Deoarece acest tip de difuzor are o impedanță foarte mare (de ordinul a 100 kΩ) și deoarece oscilațiile cristalelor nu pot avea amplitudini prea mari, puterile acustice care se pot radia sînt relativ mici.

2. *Difuzorul magnetostrictiv.* Se folosește numai în domeniul frecvențelor mai mari de 20 000 Hz (ultrasunete). Principiul de funcționare se bazează pe efectul magnetostrictiv, adică pe proprietatea materialelor feromagnetice de a suferi deformații sub acțiunea unui cîmp magnetic.

3. *Difuzorul cu efect Corona.* Între două conductoare aflate la o mare diferență de potențial pot apărea descărcări electrice, concretizate printr-o peliculă luminiscentă la suprafața conductorului. Particulele de aer sînt puse în mișcare cu ajutorul acestei descărcări. Ele se pot mișca în ritmul tensiunii alternative (tensiune ce se aplică acestui difuzor) și, dacă acesta are o frecvență audio, se va auzi un sunet. Difuzorul prezintă însă mai mult un interes științific decît practic, datorită greutății de realizare a tensiunilor mari care se cer pentru producerea efectului Corona.

4. *Ionofonul.* Un ultim tip de difuzor care, ca și cel anterior, *nu* are membrană care să radieze undele acustice, forțele de acționare aplicîndu-se direct particulelor de aer, este ionofonul. Principiul de funcționare al acestui tip de difuzor se bazează pe deplasarea ionilor sub acțiunea unui cîmp electric. Dacă acesta este alternativ, mișcarea oscilatorie a aerului va produce sunete. Acest sistem nu poate funcționa însă în bune condiții la frecvențe mai mici de 500 Hz

7.1.3. PARAMETRII DIFUZOARELOR

Caracteristicile de bază ale difuzoarelor sînt :

1. *Puterea electrică nominală* (în VA) — puterea electrică aparentă consumată la bornele de intrare, la frecvența de 1 000 Hz, pentru care distorsiunile nu depășesc 4—5%.

2. *Presiunea acustică standard*, definită ca presiunea obținută la distanța de un metru, cînd difuzorului i se aplică o putere electrică de 0,1 VA.

3. *Impedanța difuzorului* (în Ω) este valoarea impedanței electrice măsurată la bornele de intrare ale difuzorului, la frecvența de 1000 Hz.

4. *Caracteristica de frecvență* este dată de variația presiunii acustice a difuzorului pe axa principală în funcție de frecvență. Cu cît această caracteristică este mai uniformă într-o bandă de frecvențe cît mai largă, cu atît difuzorul este considerat mai bun.

5. *Frecvența de rezonanță* a sistemului mobil (în Hz) este un parametru constructiv care depinde de masa și elasticitatea sistemului mobil și este recomandabil să se afle *în afara* benzii de frecvență redată de difuzor.

6. *Randamentul difuzorului* se definește ca fiind raportul dintre puterea acustică radiată și puterea electrică reală absorbită. Randamentul difuzorului variază cu frecvența, este direct proporțional cu suprafața membranei, cu volumul magnetului și cu pătratul inducției din întrefier și invers proporțional cu pătratul mesei sistemului mobil.

7. *Caracteristica de directivitate* a difuzorului ne arată repartiția în spațiu a energiei acustice radiate față de energia radiată pe axa principală. Directivitatea depinde de frecvență de diametrul și de unghiul de deschidere al conului membranei. Directivitatea crește o dată cu frecvența (fig. 7.10). La o frecvență dată, un difuzor cu un diametru mai mare va fi mai directiv decît un difuzor cu un diametru mai mic. De asemenea, directivitatea va fi mai mare atunci cînd unghiul de deschidere al membranei va fi mai mic.

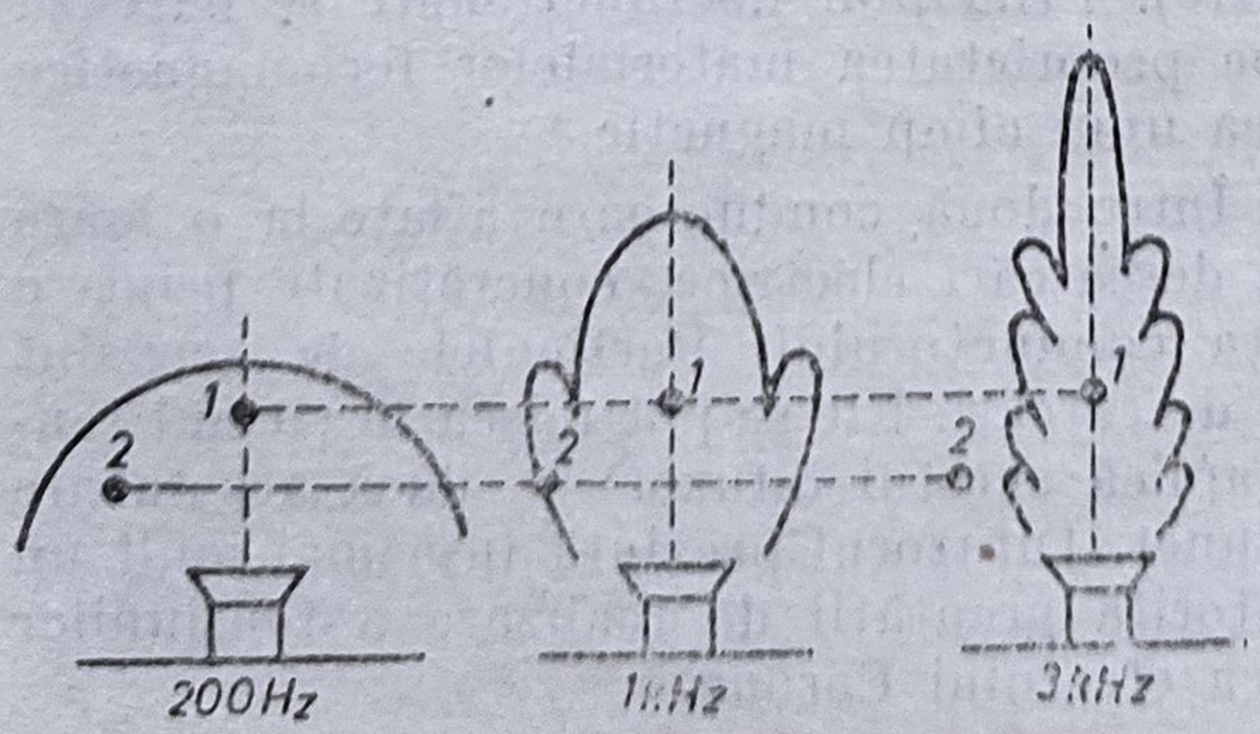


Fig. 7.10. Caracteristicile de directivitate ale unui difuzor, la diferite frecvențe.

8. *Distorsiunile neliniare* ale unui difuzor se datoresc în principal neliniarității suspensiei, neomogenității fluxului în întrefier, iar la difuzoarele cu pîlnie și neliniarității aerului ; ele sînt mai mari cînd amplitudinea de oscilație crește, deci la frecvențe joase și la puteri acustice mari.

7.1.4. CONSTRUCȚIA DIFUZORULUI ELECTRODINAMIC CU RADIAȚIE DIRECTĂ

În cele ce urmează se va analiza mai în detaliu acest tip de difuzor deoarece în prezent este universal acceptat, echipînd practic toate radioreceptoarele, televizoarele, magnetofoanele etc.

În fig. 7.11 se prezintă o secțiune printr-un difuzor electrodinamic cu radiație directă. Părțile importante ale difuzorului sînt :

— sistemul mobil, format din membrană, centraj și bobina mobilă ;
— circuitul magnetic format din magnet și piese polare ;
— corpul propriu-zis al difuzorului (șasiu).

Concepția și realizarea *membranei* influențează randamentul difuzorului, banda reprodusă și puterea admisibilă. Randamentul depinde de dimensiunile membranei, de forma și de greutatea ei, de materialul utilizat la confecționare.

Membrana difuzorului trebuie să fie ușoară, pentru a realiza un bun randament și pentru a permite redarea frecvențelor înalte. În același timp ea trebuie să fie rigidă pentru a putea funcționa corect la frecvențe joase. Aceste condiții sînt contradictorii și nu se pot realiza decît pe cale de compromis.

Membrana poate fi de formă *circulară* sau *eliptică*. Aceasta din urmă permite obținerea unei suprafețe utile de radiație mai importante, atunci cînd înălțimea avută la dispoziție pentru difuzor este limitată, așa cum se întîmplă în cazul casetelor receptoarelor de radio și televiziune. De asemeni,

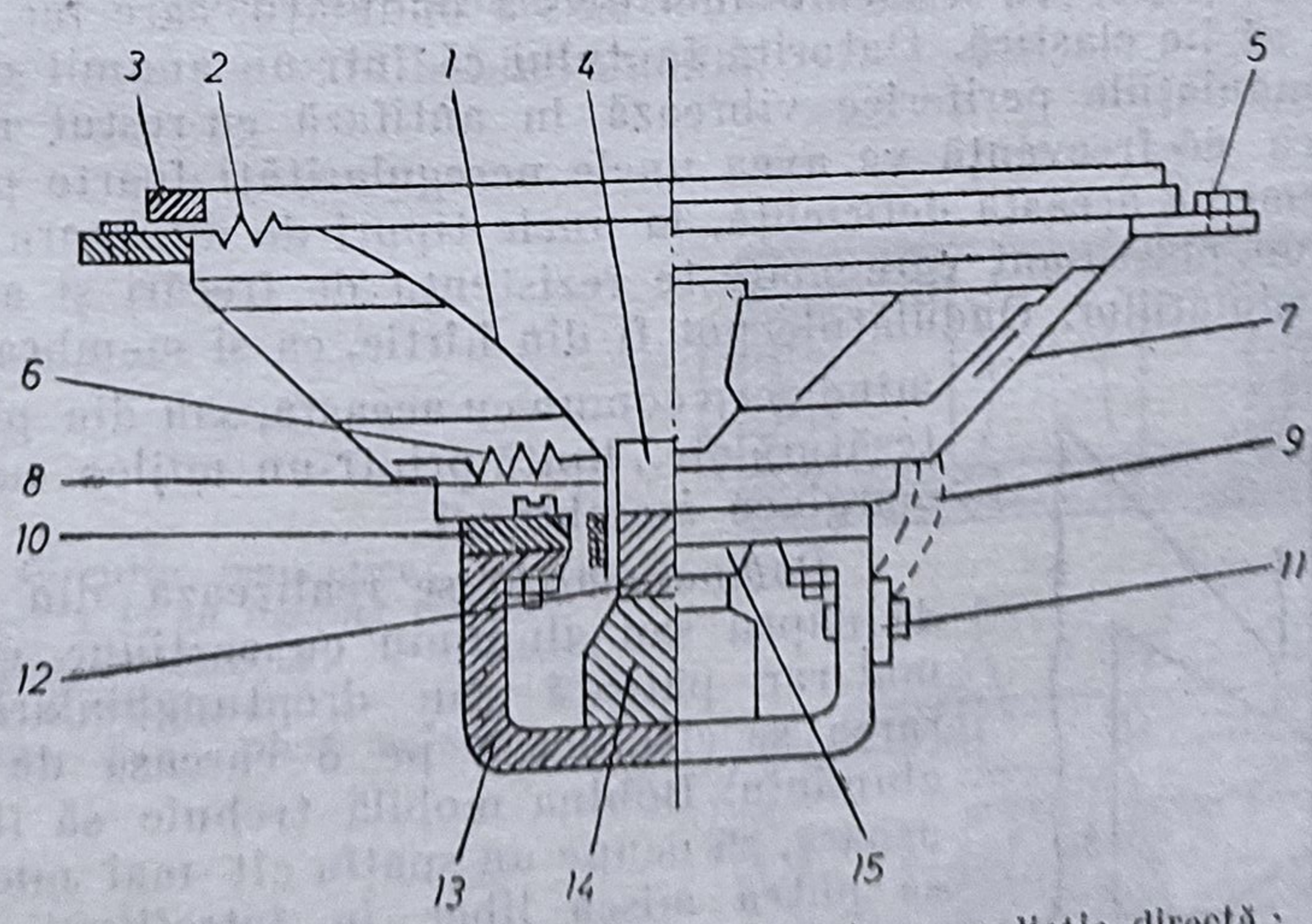


Fig. 7.11. Secțiune printr-un difuzor dinamic cu radiație directă : *1* — membrană ; *2* — suspensie ; *3* — sector ; *4* — capăcel ; *5* — găuri de fixare ; *6* — centraj ; *7* — șasiu ; *8* — bobină mobilă ; *9* — terminale ; *10* — flanșă superioară ; *11* — placă pentru racorduri ; *12* bolț ; *13* — jug ; *14* — magnet ; *15* — capsulă.

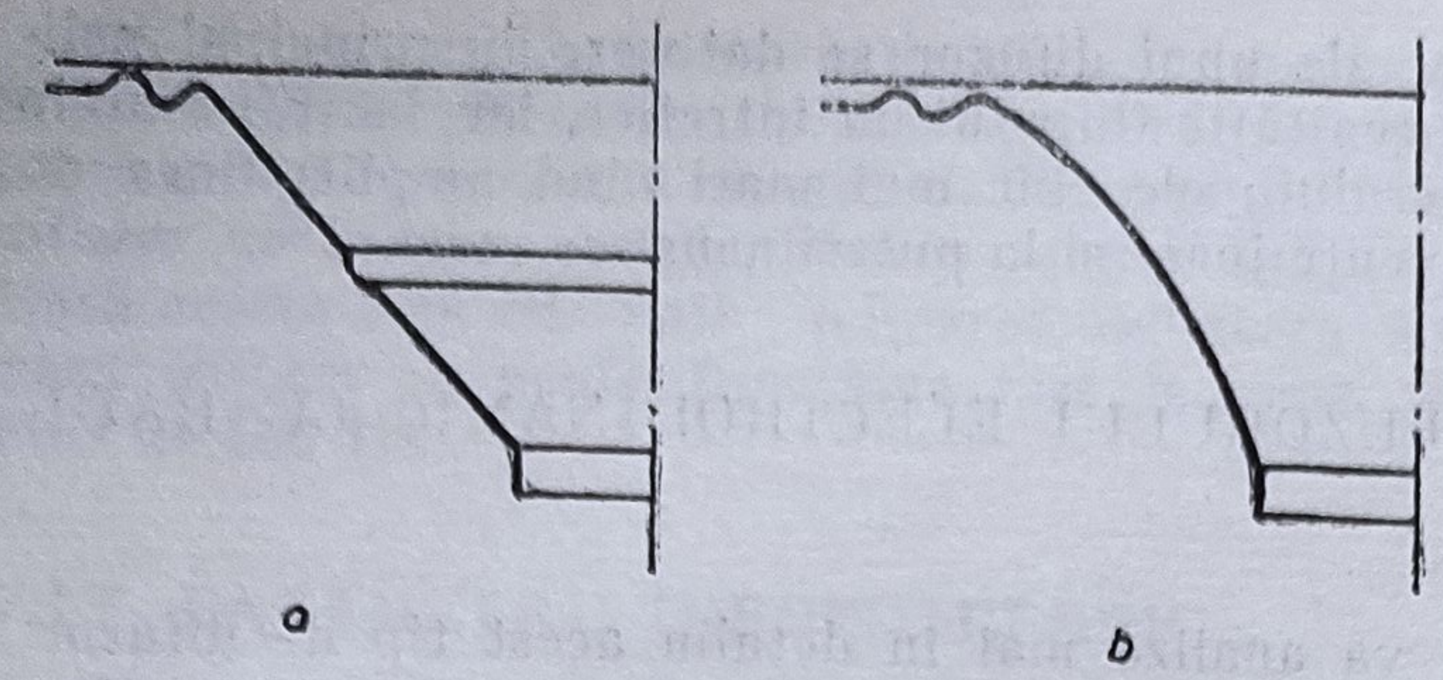


Fig. 7.12. Forma membranelor în secțiune: *a*) conică; *b*) exponențială.

acest tip de membrană face ca reproducerea frecvențelor să fie mai uniformă, diametrul mare permițînd radierea puterii acustice la frecvențe joase, iar diametrul mic permițînd radierea puterii acustice la frecvențe înalte.

În secțiune, membrana poate fi conică sau exponențială (fig. 7.12).

În general, putem afirma că o membrană pentru un nivel sonor mare are caracteristici sonore mai slabe decît o membrană pentru un nivel sonor mai scăzut. Pentru micșorarea directivității la frecvențe înalte, în mijlocul membranei se poate prevedea un con fixat rigid de bolț, confecționat din metal sau material plastic (fig. 7.13).

Caracteristica de frecvență a difuzorului este determinată de particularitățile membraneî. Neregularitățile caracteristicii de frecvență se datoresc diverselor moduri de vibrație a unor porțiuni ale membranei, unele în fază, altele în antifază, care depind în mare măsură de compoziția materialului din care este confecționată membrana. Acest material este, în mod obișnuit *celuloză* cu diverse adaosuri (celofibră, negru de fum etc.). De asemeni, poate fi confecționată din material plastic, iar în ultimul timp s-au confecționat membrane extrem de rigide dintr-o foiță extrem de subțire de aluminiu pe care s-a lipit, printr-un procedeu oarecare, o masă plastică spongioasă ușoară. S-ar părea că rezultatele obținute sînt foarte bune.

În partea periferică a membranei există ondulații, care fac ca legătura ei cu șasiul să fie elastică. Datorită faptului că într-un anumit domeniu de frecvențe ondulațiile periferice vibrează în antifază cu restul membranei, caracteristica de frecvență va avea unele neregularități foarte pronunțate. Pentru a remedia această deficiență, la unele tipuri de difuzoare ondulațiile se ung cu un plastifiant care mărește rezistența de frecări și amortizează vibrațiile ondulațiilor. Ondulațiile pot fi din hîrtie, ca și membrana, și formînd corp comun cu aceasta, sau din piele moale, țesătură etc., lipită printr-un mijloc oarecare de marginea membranei.

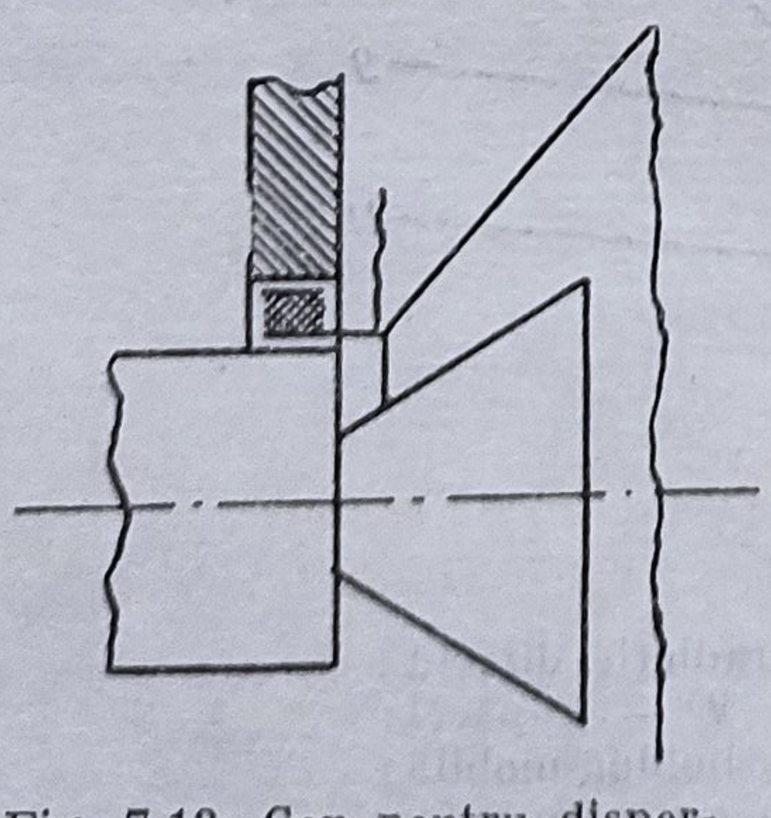


Fig. 7.13. Con pentru dispersarea frecvențelor înalte.

Bobina mobilă se realizează din conductor de cupru sau aluminiu cu secțiune circulară și mai rar pătrată sau dreptunghiulară. Înfășurarea se efectuează pe o carcasă de hîrtie sau aluminiu. Bobina mobilă trebuie să fie cît mai ușoară, să ocupe un spațiu cît mai mic pentru a se putea mișca liber în întrefierul circuitului magnetic. Dacă prima condiție nu este îndeplinită, restituirea frecvențelor înalte va avea de suferit datorită inerției mari a sistemului mobil. Bobina realizată cu sîrmă de aluminiu prezintă din

acest punct de vedere avantajul de a fi mai ușoară. Ținînd seama însă că rezistivitatea cuprului este mai mică și că sudarea sîrmei de aluminiu prezintă încă dificultăți practice, mai adesea se preferă utilizarea cuprului. Aluminiul se utilizează numai la o parte din difuzoarele speciale realizate pentru redarea frecvențelor înalte.

Bobina mobilă și membrana fac parte din *sistemul mobil*. Întrucît bobina mobilă acționează membrana, legătura dintre ele trebuie să fie făcută rigid. Aceasta se realizează prin lipirea cu un lac special a carcasei bobinei mobile cu membrana. La punctul de unire al bobinei cu membrana se găsește și *centrajul* care servește la ghidarea corectă a bobinei în întrefier și permite acesteia să vibreze axial. De asemenea, centrajul protejează întrefierul de praf, de pilitură de fier etc.

Orice abatere de la axialitate poate face ca bobina mobilă să se frece de piesele polare, ceea ce conduce la distorsiuni inadmisibile. Elasticitatea centrajului și a ondulațiilor periferice ale membranei, împreună cu masa sistemului mobil, determină frecvența de rezonanță a difuzorului. Din această cauză se caută ca ondulațiile periferice și centrajul să fie cît mai elastice, pentru a se obține o frecvență de rezonanță a sistemului mobil cît mai mică.

Circuitul magnetic este format dintr-un magnet permanent, din piese polare realizate dintr-un oțel moale (cu remanență foarte mică) și un întrefier. Asamblarea tuturor acestor piese se poate face în trei moduri: cu șuruburi și piulițe, prin înglobarea întregului sistem în masă plastică sau cu ajutorul unor lacuri de lipire.

Magnetul este confecționat prin turnare dintr-un aliaj magnetic sau prin presarea unor oxizi de fier. De asemeni, el poate fi ceramic confecționat din ferită de bariu. Suprafețele paralele ale magnetului trebuie bine șlefuite, pentru ca suprafața de contact cu piesele polare să fie cît mai mare. Magnetul poate fi inelar sau cilindric, în acest din urmă caz el montîndu-se ca piesă centrală (fig. 7.14).

Piesele polare sînt flanșa superioară și flanșa inferioară cu bolț. Precizia de prelucrare a bolțului trebuie să fie foarte mare (de ordinul a 3/100 mm) deoarece pe el este centrată bobina mobilă.

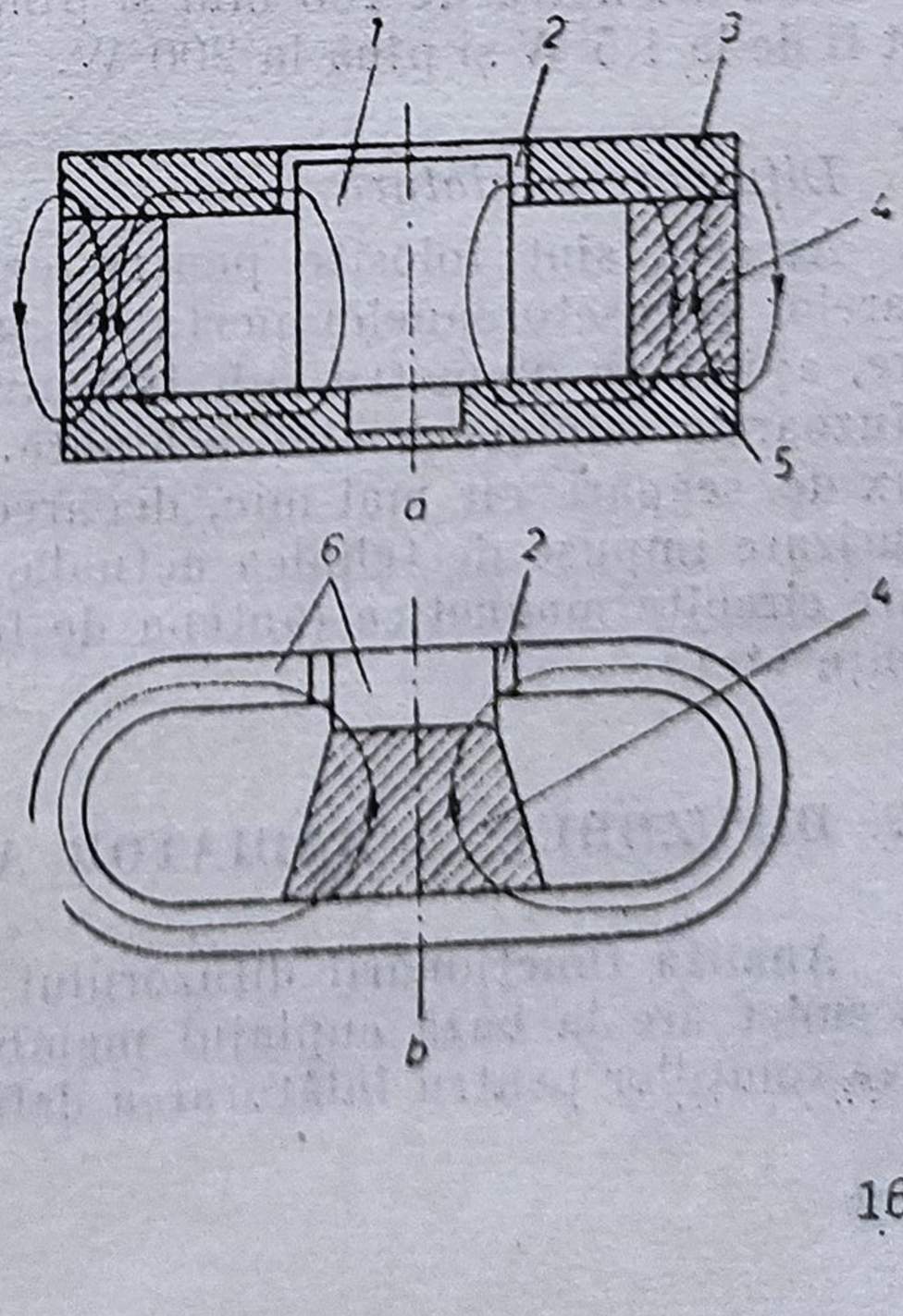


Fig. 7.14. Circuite magnetice: *a*) cu magnet inelar; *b*) cu magnet cilindric: *1* — bolți; *2* — întrefier; *3* — flanșă superioară; *4* — magnet; *5* — flanșă inferioară; *6* — piese polare.

La primele difuzoare electrodinamice, cîmpul magnetic era produs de o înfășurare de cupru alimentată cu curent continuu. Costul mare al cuprului și necesitatea curentului de excitație conduc la un preț de cost relativ ridicat. Astăzi la marea majoritate a difuzoarelor cîmpul magnetic este produs de un magnet permanent.

Corpul difuzorului (*șasiul*) trebuie să prezinte două planuri paralele pe care se montează centrajul și marginile ondulațiilor periferice. El trebuie să fie rigid și fără rezonanțe proprii. Corpul se poate turna din aluminiu sau ștanța din tablă de oțel sau aluminiu. În primul caz prețul de cost este mai ridicat, însă șasiul fiind foarte rigid, difuzorul este mai bun. Această soluție este adoptată în cazul difuzoarelor de puteri relativ mari (peste 8 W).

La difuzoarele mici soluția adoptată este cea a ștanțării din tablă ceea ce conduce la un preț de cost mai scăzut. Lipirea ondulațiilor periferice ale membranei de marginea șasiului se face cu ajutorul unui lac. Pentru a se evita orice fel de vibrații parazite, peste marginea ondulațiilor periferice se lipesc niște sectoare care pot fi din pîslă, carton sau plută.

Difuzoarele electrodinamice se realizează în diferite variante constructive în funcție de scopul și necesitățile practice :

Difuzoare eliptice

În această categorie intră o serie de difuzoare la care diametrul mare este de aproximativ 3 ori cît diametrul mic.

Puterile acestor difuzoare sînt între 0,5 și 8 W, iar banda de frecvență are limita superioară între 5 000 și 9 000 Hz, iar limita inferioară între 50 și 200 Hz. În unele construcții de difuzoare eliptice (în special pentru utilizarea la televizoare, care au sistemul acustic în față) există tendința de a mări mult raportul între axa mică și axa mare a difuzorului (ex. difuzor cu dimensiunile 90/350 mm).

Difuzoare circulare

Acestea cuprind o varietate mai mare de tipuri de difuzoare, începînd de la un diametru de 100 mm și pînă la 250 mm și chiar mai mult. Puterile pot fi de la 1,5 W și pînă la 200 W.

Difuzoare miniatură

Acestea sînt folosite pentru echiparea radioreceptoarelor, radioemițătoarelor și casetofoanelor portabile sau de buzunar. Ele sînt de obicei circulare, avînd un diametru sub 100 mm și o putere între 0,1 și 0,5 W. Toate difuzoarele miniatură sînt echipate cu magnet central, pentru a avea un flux de scăpări cît mai mic, deoarece, în caz contrar, în condițiile de miniaturizare impuse de tehnica actuală, acest flux de scăpări ar perturba celelalte circuite magnetice (antena de ferită, bobina oscilatorului, mediile frecvențe etc).

7.2. DIFUZORUL — RADIATOR ACUSTIC

Analiza funcționării difuzorului ca radiator acustic, respectiv ca sursă de sunet are la bază cuplajul membranei cu mediul înconjurător și stabilirea soluțiilor pentru înlăturarea deficiențelor constatate.

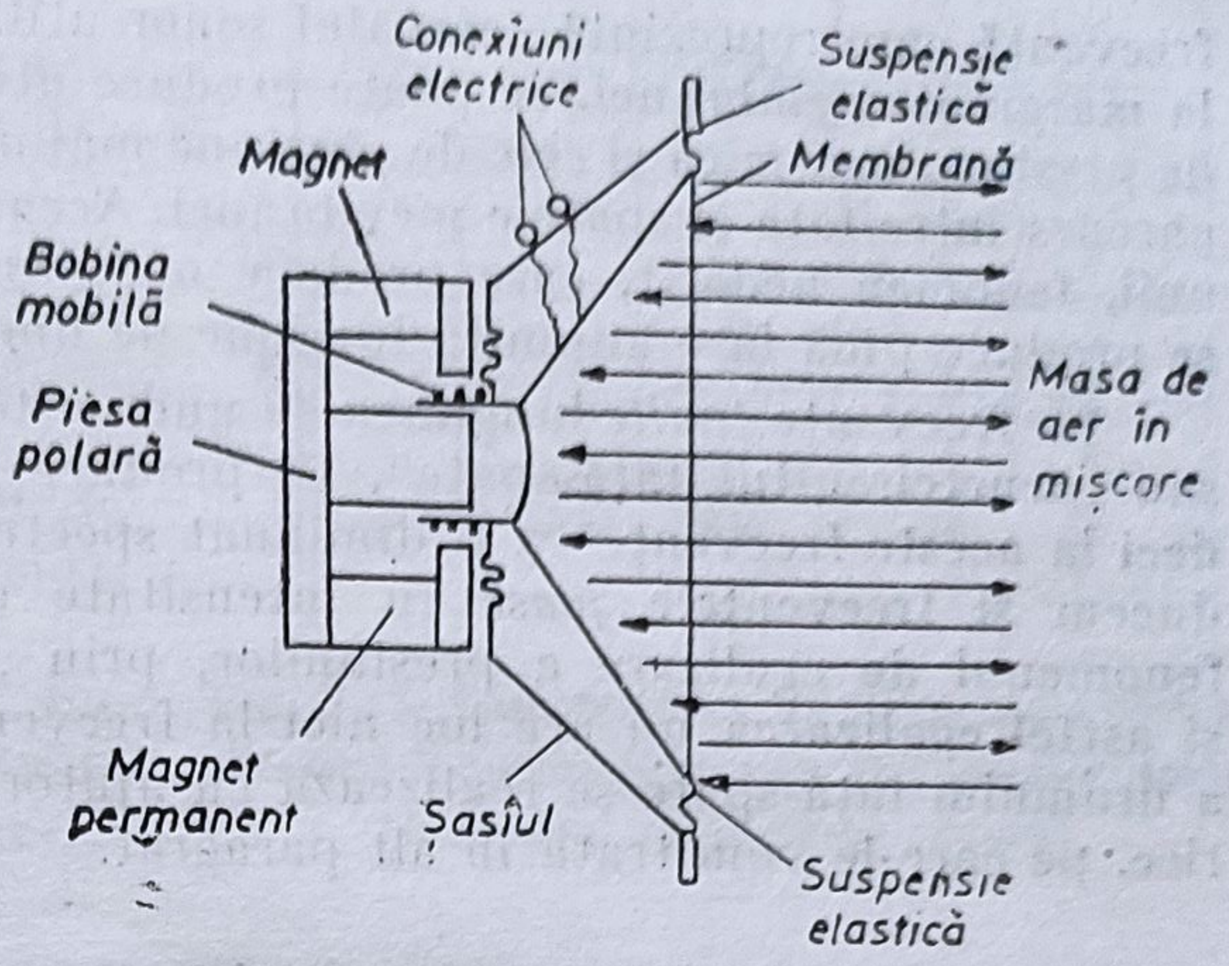


Fig. 7.15. Schița modului de funcționare a difuzorului dinamic.

Analizînd mișcarea membranei, se constată că într-o semiperioadă aceasta se mișcă înainte, deci va împinge masa de aer (fig. 7.15).

În acest moment, presiunea din fața membranei se mărește, ceea ce ar trebui să producă o propagare a comprimării realizate în linie dreaptă. De fapt, în realitate aceasta nu se produce, fenomenul fiind mai complex, deoarece în momentul considerat presiunea din fața membranei crește iar în spatele membranei apare o depresiune. Această diferență de presiune față-spate la marginea membranei circulare tinde să se egalizeze și apar unde de tip vîrtej (fig. 7.16), rezultînd în consecință o diminuare a presiunii acustice utile.

În momentul următor, apare cealaltă semiperioadă a curentului de audiofrecvență și sensul fenomenului se schimbă ; în fața membranei presiunea scade, și în spate crește. Este de la sine înțeles că fenomenul se schimbă în ritmul frecvenței semnalului de audiofrecvență aplicat bobinei mobile.

Prin urmare, în fața membranei apar în mod periodic variații ale presiunii aerului, mai mari sau mai mici, în funcție de variația curentului de audio-

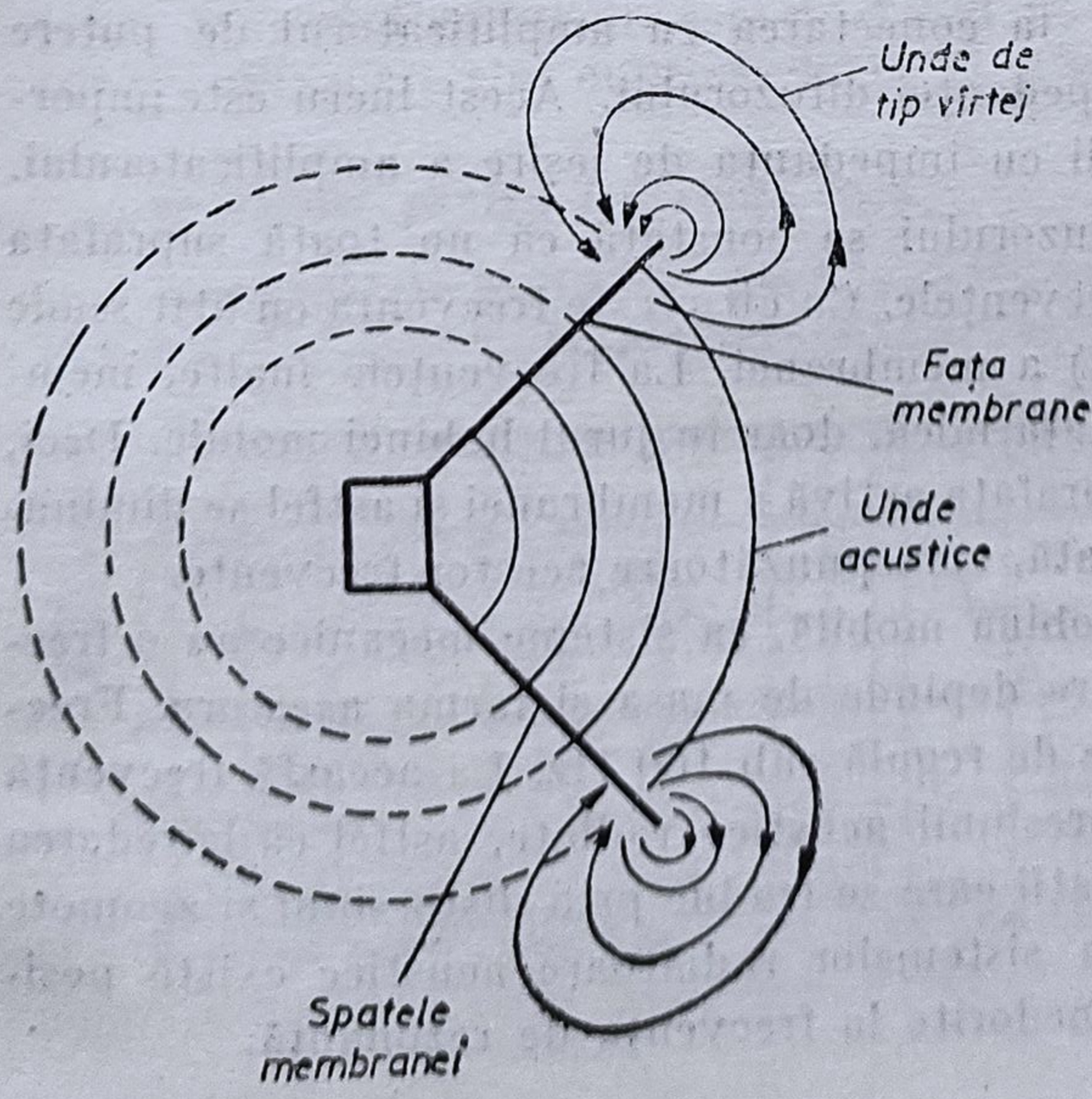


Fig. 7.16. Egalizarea presiunilor acustice pe cele două fețe ale membranei difuzorului.

frecvență care reprezintă semnalul sonor util. Egalizarea presiunii, ce apare la marginea membranei, se poate produce atunci cînd distanța dintre zonele de presiune mai mică și cele de presiune mai mare este mai mare decît drumul parcurs între fața și spatele membranei. Aceasta înseamnă că egalizarea presiunii, fenomen nedorit, care produce o diminuare a presiunii acustice utile, se produce pînă la o anumită lungime de undă.

La frecvențe *înalte* lungimea de undă este mică, deci egalizarea presiunii, sau „scurtcircuitul față-spate", se produce în domeniul frecvențelor joase, deci la aceste frecvențe va fi diminuat spectrul radiat. Dacă dorim să reproducem și frecvențele *joase* cu intensitate corespunzătoare, putem reduce fenomenul de egalizare a presiunilor, prin „lungirea" drumului față-spate, și astfel egalizarea nu are loc nici la frecvențele joase. Lungirea artificială a drumului față-spate se realizează cu ajutorul panourilor și incintelor acustice, pe care le vom trata în alt paragraf.

Pentru a se putea obține de la difuzor o intensitate sonoră cît mai mare este necesar ca membrana (deci și bobina mobilă) să aibă o mișcare cu o amplitudine cît mai mare. Astfel, pentru ridicarea intensității sonore, trebuie să aplicăm bobinei mobile o putere electrică mărită. Puterea maximă ce se poate aplica difuzorului este limitată fie de *deteriorarea membranei* și a părților elastice de centrare, fie de *arderea conductorului* bobinei mobile.

Astfel, puterea ce se poate da difuzorului este în funcție de dimensiunile constructive și tipul materialelor folosite. În nici un caz nu se va aplica difuzorului o putere mai mare ca puterea sinusoidală sau muzicală. Este de preferat să se aplice o putere mai mică decît valorile limită.

Pentru siguranța în funcționare, cel mai indicat este ca raportul dintre puterea maximă pe care o poate debita amplificatorul final și puterea maximă care poate fi aplicată difuzorului să fie de 1 : 2. Deci, dacă utilizăm un amplificator stereo cu puterea de 2 × 10 W muzical, este indicat ca puterea maximă aplicabilă difuzoarelor să fie de 2 × 20 W (20 W pe canal).

Dacă se utilizează acest raport vor scădea simțitor și distorsiunile armonice și Doppler, la vîrfurile de excitație.

În afara puterii nominale, la conectarea cu amplificatorul de putere este necesară și cunoașterea impedanței difuzorului. Acest lucru este important pentru realizarea adoptării cu impedanța de ieșire a amplificatorului.

În timpul funcționării difuzorului se constată că nu toată suprafața membranei vibrează la toate frecvențele. Cu cît crește frecvența cu atît scade suprafața activă (care vibrează) a membranei. La frecvențele înalte, membrana mai vibrează pe o suprafață mică, doar în jurul bobinei mobile. Deci, cu creșterea frecvenței scade suprafața activă a membranei și astfel se diminuează și intensitatea sonoră radiată, corespunzătoare acestor frecvențe.

Membrana, împreună cu bobina mobilă, ca sisteme mecanice au o frecvență proprie de rezonanță, care depinde de masa și forma acestora. Frecvența proprie de rezonanță este de regulă sub 100 Hz. La această frecvență apare o diminuare profundă a presiunii acustice radiate, astfel că la redarea frecvențelor joase apar perturbații care se traduc prin distorsiuni și zgomote nedorite (duruituri). În tehnica sistemelor radiatoare acustice există posibilitatea compensării efectelor nedorite la frecvența de rezonanță.

Difuzoare pentru frecvenţe joase

Pentru redarea liniară în domeniul frecvenţelor joase, cuprinse în general, între 20 şi 2000 Hz (fig. 7.17), se utilizează radiatoare special construite. Pentru redarea corespunzătoare a frecvenţelor joase, difuzorul trebuie să îndeplinească următoarele condiţii, independent de faptul că se asociază cu panouri, cutii sau incinte acustice :

— membrana trebuie să aibă diametrul şi suprafaţa mare, să poată radia cu randament bun puteri mari ;

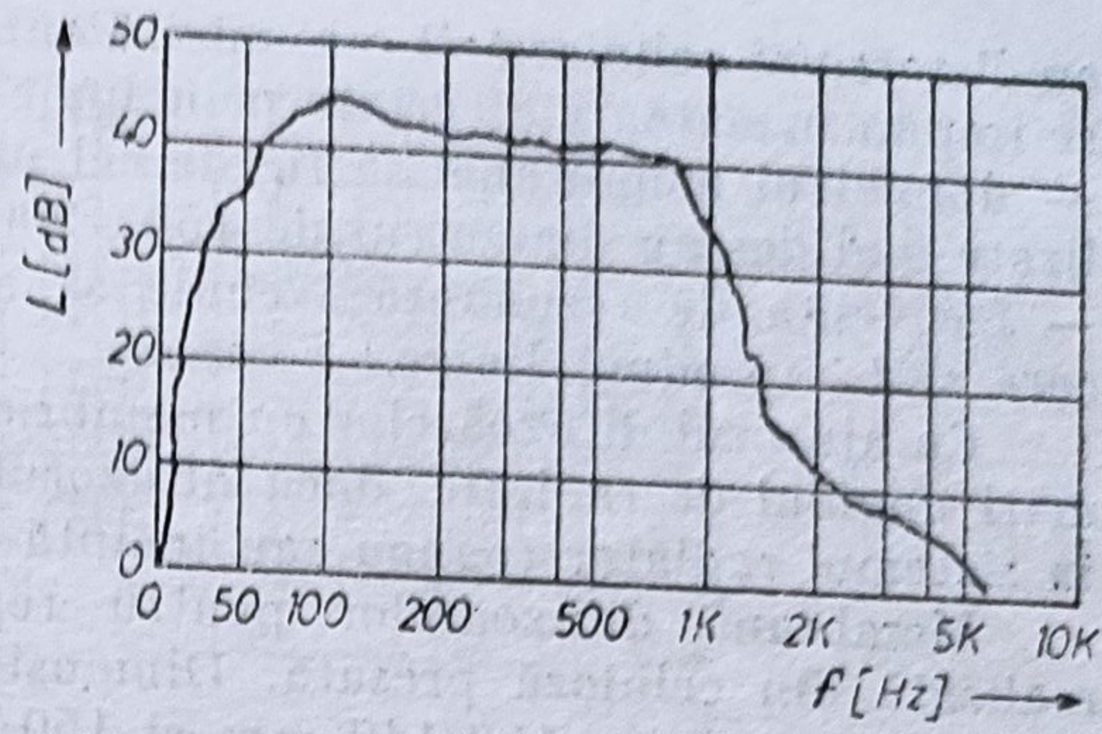


Fig. 7.17. Caracteristica de frecvenţă tipică a difuzoarelor pentru redarea frecvenţelor joase (L = nivel de presiune sonoră).

— frecvenţa de rezonanţă să fie mai mică de 20 Hz ;
— pentru a avea un randament bun şi caracteristică tranzitorie (*de impuls*) bună, membrana trebuie să fie cît mai uşoară. Suporturile elastice să fie cît mai moi, astfel se obţine şi frecvenţă de rezonanţă de valoare mică ;
— intensitatea cîmpului magnetic din întrefier să fie cît mai mare, ameliorîndu-se randamentul şi amortizarea.

Constructiv, difuzoarele pentru redarea frecvenţelor joase de bună calitate au membrana prevăzută cu inele, diametrul membranei şi al bobinei mobile mare, iar carcasa este turnată din aluminiu. Îmbinarea dintre membrană şi carcasă se face pe o garnitură inelară ; de asemenea este prevăzută posibilitatea centrării bobinei mobile. La difuzoarele cele mai moderne, marginea membranei este prevăzută cu o bordură de cauciuc, care se fixează de carcasă, conferind astfel o elasticitate sporită. La acest tip constructiv se obţine cea mai mare elongaţie a membranei. Difuzoarele utilizate în acest domeniu de frecvenţe au diametru cuprins între 200 ÷ 250 mm, putînd ajunge chiar pînă la 500 mm. În funcţie de tipul constructiv diametrul bobinei mobile este cuprins între 30 ÷ 60 mm. Frecvenţa de rezonanţă deşi ar trebui să fie sub 20 Hz, este în general cuprinsă între 25 ÷ 40 Hz. Impedanţa difuzoarelor, universal construite este de 4,8 şi 15 Ω iar puterile care se pot aplica acestor difuzoare sînt cuprinse între 10 şi 200 W.

Difuzoare pentru frecvenţe medii

Radiatoarele prevăzute pentru reproducerea frecvenţelor medii, trebuie să redea cît mai liniar banda frecvenţelor cuprinse între 300—5000 Hz (fig .7.18).

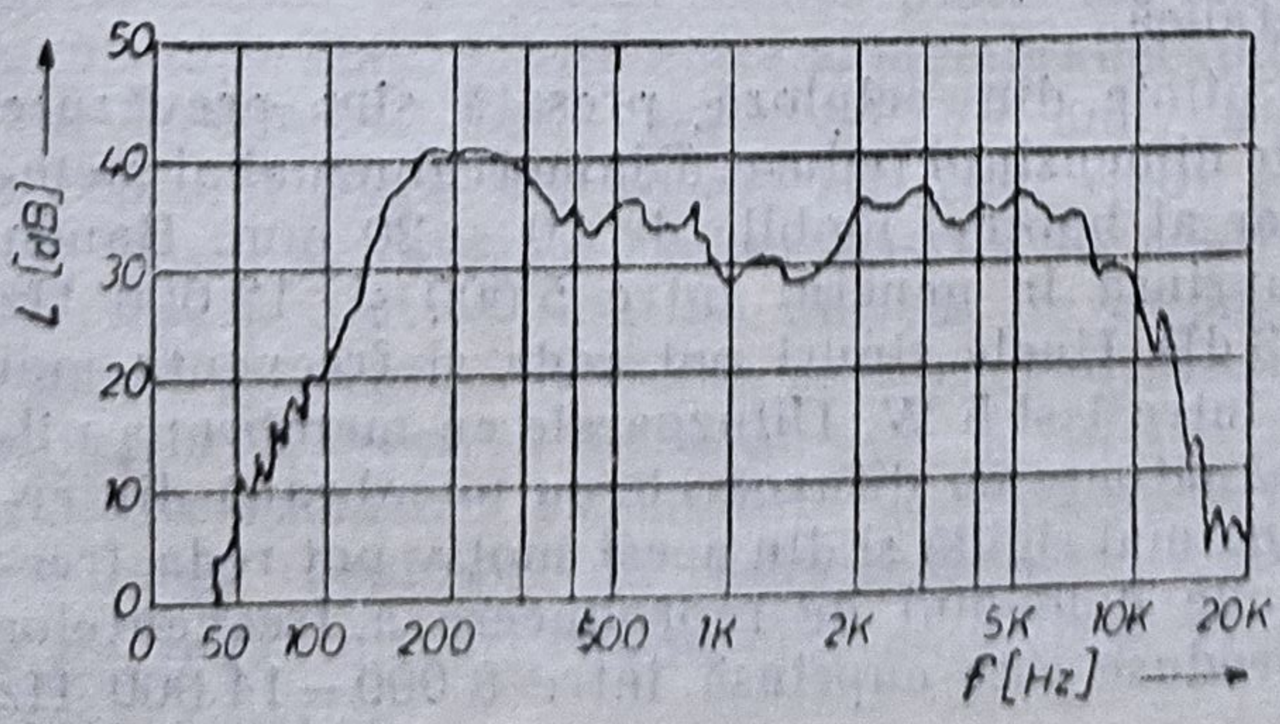


Fig. 7.18. Caracteristica de frecvenţă tipică a difuzoarelor pentru redarea domeniului frecvenţelor medii.

cu distorsiuni neliniare cît mai mici. Pentru redarea acestei benzi de frecvenţă, se impun următoarele cerinţe principale :

— diametrul membranei să fie de cel puţin 100—200 mm (membranele utilizate mai des au diametrul de 150—200 mm) ;

— frecvenţa de rezonanţă trebuie să se situeze sub valoarea frecvenţelor care sînt reproduse liniar.

Cu ajutorul difuzoarelor cu membrană în formă ovală (eliptică) se poate mări unghiul de radiaţie dacă difuzorul se montează vertical cu axa mare, în sistemul radiator (panou sau incintă acustică).

Membrana difuzoarelor pentru reproducerea frecvenţelor medii este realizată din celuloză presată. Dimensiunile membranei difuzoarelor ovale sînt cuprinse între 100/140 mm şi 150/250 mm. În incintele de calitate se montează două-patru difuzoare pentru frecvenţele medii conectate în serie sau în paralel, în funcţie de impedanţa ce trebuie realizată. Diametrul bobinei mobile este cuprins între 20 şi 30 mm.

Frecvenţa de rezonanţă este cuprinsă între 300 şi 500 Hz. Prin utilizarea mai multor difuzoare se poate compensa efectul nedorit al rezonanţelor proprii ale difuzoarelor. De regulă, impedanţa este de 4,8 sau 15Ω iar puterile sînt cuprinse între 5—25 W.

Difuzoare pentru frecvenţe înalte

Dimensiunile membranei radiatoarelor destinate pentru reproducerea frecvenţelor înalte trebuie să fie mai mari în raport cu lungimea de undă corespunzătoare frecvenţei celei mai mari, din domeniul frecvenţelor ce trebuie reproduse. Apare, astfel, o puternică fascicularizare a undelor acustice, care produc un efect supărător în spaţiul sonor. Prin utilizarea mai multor difuzoare ce radiază frecvenţele înalte în diferite direcţii, se diminuează acest efect supărător. Cele mai importante particularităţi ale acestor difuzoare sînt :

— membrana este uşoară, confecţionată din celuloză impregnată, masă plastică, eventual din folie de aluminiu presat.

— frecvenţa de rezonanţă este ridicată, însă ea trebuie să fie mai mică cu cel puţin o octavă (de două ori) faţă de frecvenţa cea mai joasă din banda de frecvenţă transmisă.

Radiatoarele acustice pentru frecvenţe înalte se realizează după diferite principii şi tipuri constructive. Dintre acestea, cele mai răspîndite sînt :

— difuzoare cu membrană pîlnie din celuloză presată ;

— difuzoare cu membrană pîlnie din mase plastice ;

— difuzoare cu membrană calotă sferică din mase plastice ;

— pîlnii cu membrană metalică.

Difuzoarele cu membrana pîlnie din celuloză presată sînt prevăzute cu bobine mobile şi membrane de dimensiuni reduse. Diametrul uzual al membranei este de 50 ÷ 100 mm, iar al bobinei mobile de 10 ÷ 20 mm. Banda de frecvenţă reprodusă este cuprinsă în general între 5 000 şi 12 000 Hz (fig. 7.19), cu o abatere de ±3 dB. Unele tipuri pot reda şi frecvenţe mai înalte iar puterea este cuprinsă între 1 şi 5 W. Difuzoarele cu membrana pîlnie din mase plastice sînt asemănătoare cu difuzoarele cu membrană din celuloză : acestea au însă membrana mai rigidă şi din acest motiv pot reda frecvenţe mai mari, adică se extinde domeniul de reproducere a frecvenţelor înalte. Banda de frecvenţe reproduse este cuprinsă între 8 000—14 000 Hz

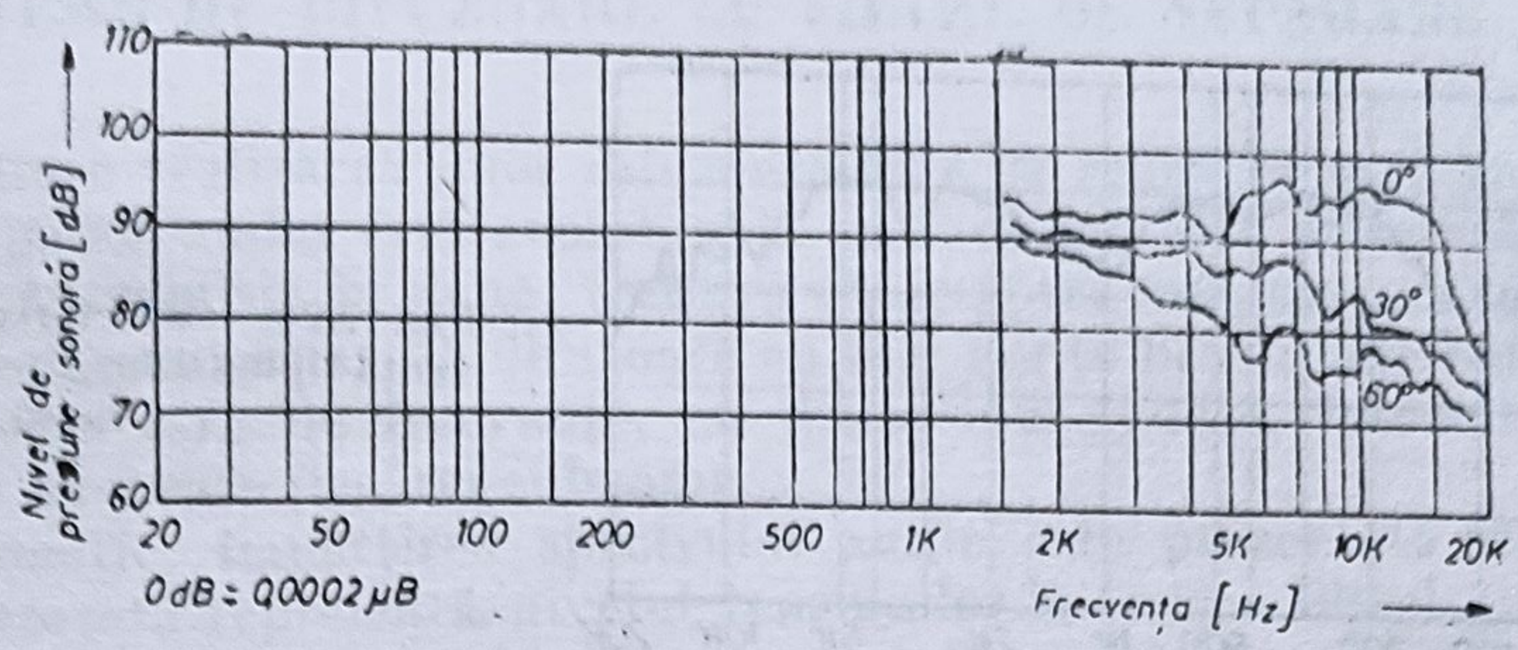


Fig. 7.19. Caracteristicile tipice difuzoarelor pentru redarea frecvențelor înalte la diferite unghiuri de directivitate.

cu o abatere de ± 1 dB, dar nu rare sînt tipurile cu banda de 8 000—16 000 Hz. Puterea aplicată este de asemenea de $1 \div 5$ W.

Difuzoarele cu membrana calotă sferică din mase plastice, au o largă utilizare deoarece ele pot reproduce liniar frecvențe între 10 000 și 20 000 Hz. Datorită formei de calotă sferică a membranei scade și directivitatea difuzorului, obținîndu-se o îmbunătățire față de alte tipuri. Diametrul membranei este de cca 20—50 mm, dimensiuni pe care le are și diametrul bobinei mobile. Puterea aplicată este de $1 \div 5$ W.

Difuzoare de bandă largă

Rolul radiatoarelor de bandă largă este de a reproduce cu o abatere acceptabilă întreaga bandă a frecvențelor audio. Un radiator de calitate, de bandă largă trebuie să îndeplinească următoarele cerințe principale:

— membrana trebuie să oscileze (să radieze) în toată banda de frecvențe audio. Oscilațiile de frecvențe înalte nu trebuie să fie atenuate, condiție greu de îndeplinit dacă banda impusă este prea mare;

— piesele elastice de fixare a membranei trebuie să aibă aceeași elasticitate, atît la elongații mici cît și la elongații mari ale membranei;

— frecvența proprie de rezonanță să fie sub 20 Hz.

Radiatoarele acustice de bandă largă cu o singură membrană din celuloză, nu sînt capabile să reproducă cu o liniaritate acceptabilă banda frecvențelor audio. Mai ales trebuie compensată reproducerea frecvențelor mai mari de 10 kHz. În practică s-a adoptat următoarea soluție: pentru reproducerea frecvențelor joase și mijlocii s-a prevăzut o membrană de celuloză (hîrtie) de diametru mare, iar pentru compensarea reproducerii frecvențelor înalte, s-a aplicat o mică pîlnie tot din hîrtie, de diametru mai mic. Dimensiunile diametrului mare al membranei sînt cuprinse între 200—250 mm, iar al membranei mici între $50 \div 70$ mm. Banda frecvențelor reproduse este cuprinsă între 40—16 000 Hz, (fig. 7.20), cu o abatere de ± 4 dB. La aceste tipuri de difuzoare piesa elastică de centrare, de la baza membranei este formată dintr-o folie de plastic, de formă triunghiulară. Puterea radiată este în general 5—8 W. Nu se fabrică difuzoare de bandă largă de puteri mari, datorită creșterii distorsiunilor de diferite tipuri. În tehnica audițiilor de calitate asemenea radiatoare acustice nu se folosesc, însă acest tip a pernis o largă răspîndire în radioreceptoare, televizoare, magnetofoane, agregate de redat discuri, unde este complicat să se folosească mai multe radiatoare acustice.

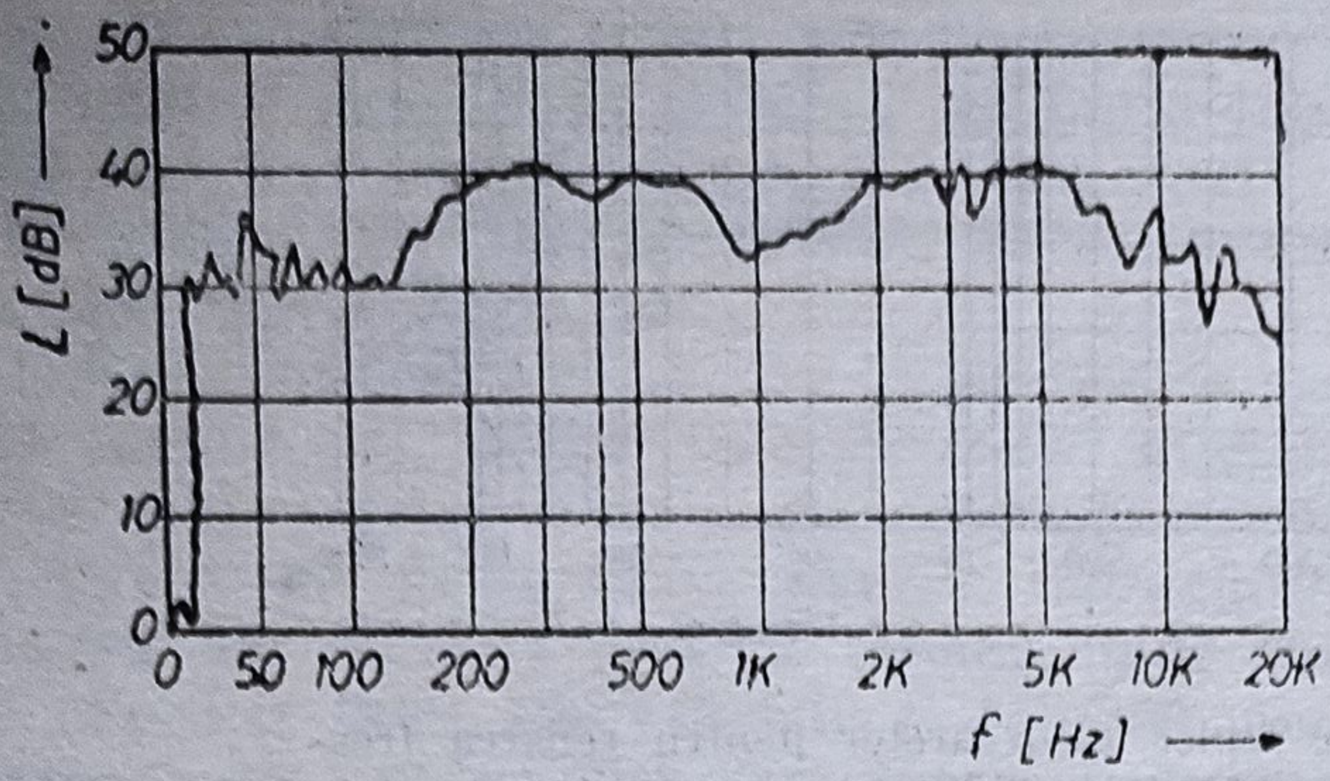


Fig. 7.20. Caracteristica de frecvență tipică difuzoarelor de bandă largă.

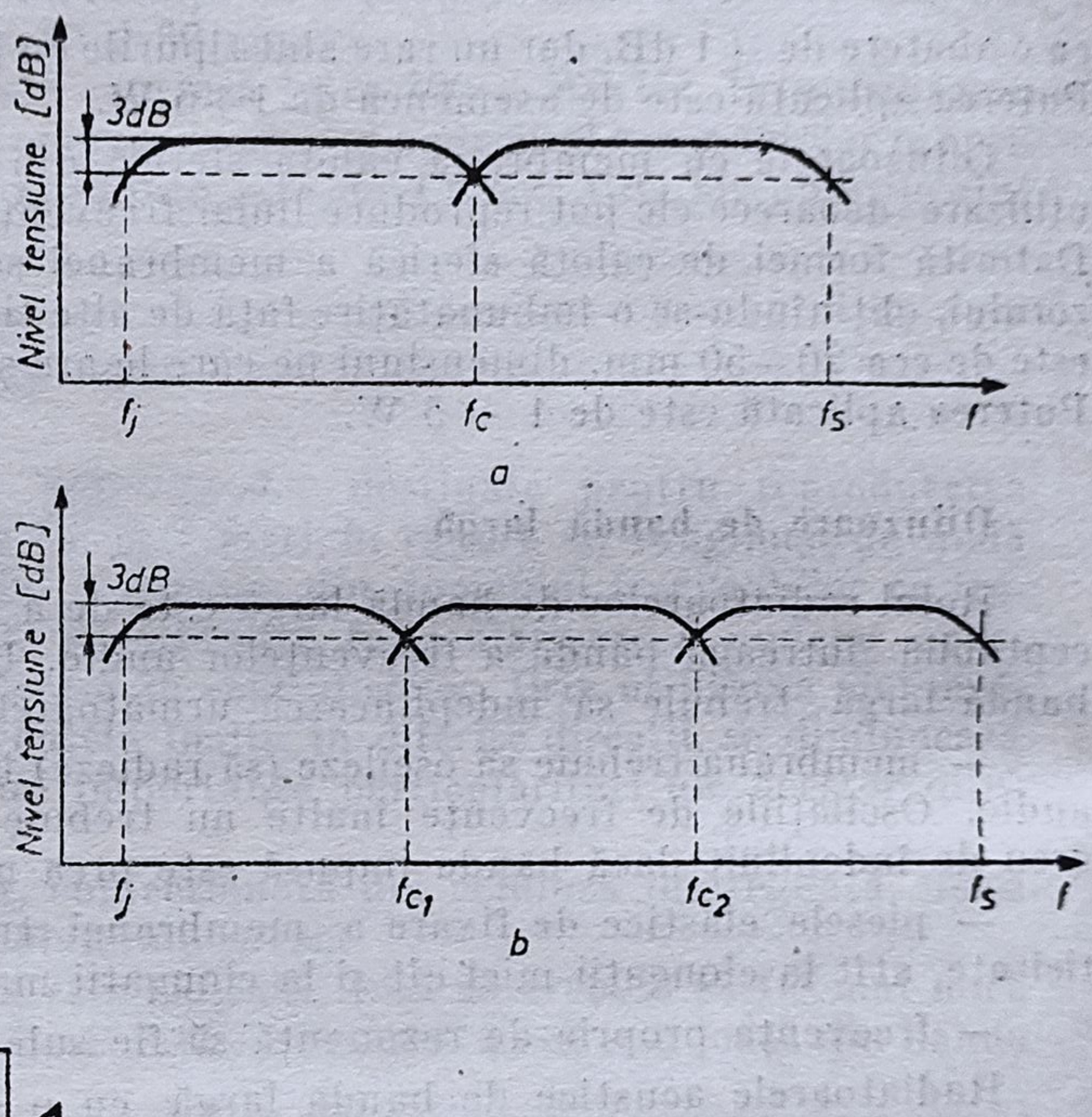


Fig. 7.21. Caracteristică de frecvență pentru rețele de difuzoare cu filtre de separare: *a*) cu două subgame; *b*) cu trei subgame.

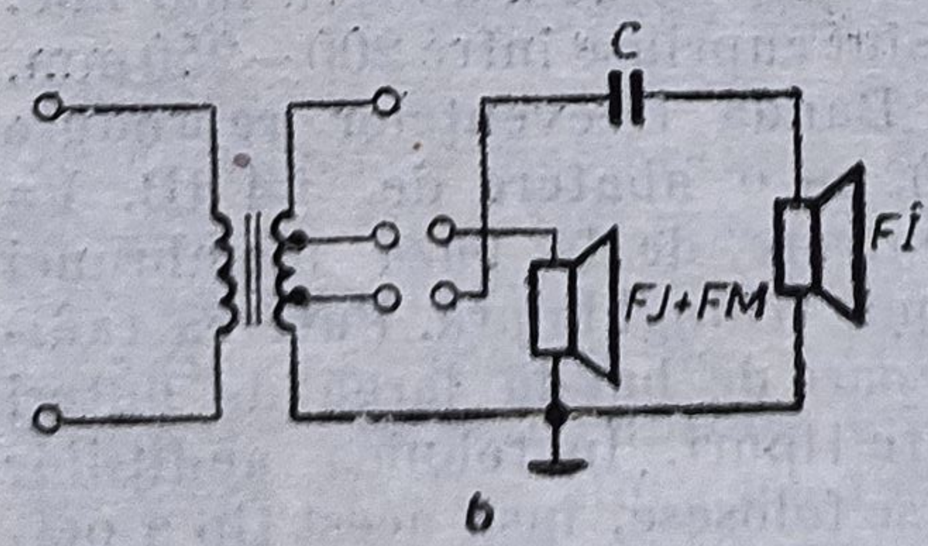


Fig. 7.22. Sistem cu două difuzoare avînd impedanțele aproximativ egale (*a*) sau diferite (*b*), pentru frecvențe joase (*FJ*), medii (*FM*) și înalte (*FÎ*).

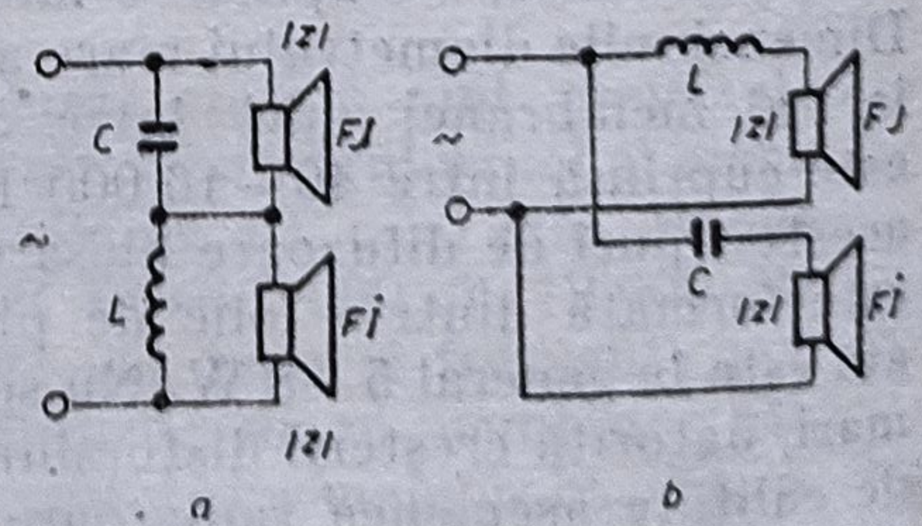


Fig. 7.23. Sistem de două difuzoare cu filtre de separare (atenuare 6 dB/octavă): *a*) montaj serie; *b*) montaj derivație.

7.3. SISTEME DE DIFUZOARE CU FILTRE DE SEPARARE

Deoarece realizarea unor difuzoare care să redea în mod corespunzător întreaga gamă audio este complicată, în practică este preferată împărţirea benzii de transmisie în două, trei sau chiar patru subgame cu ajutorul unor filtre. Se obţin sisteme de difuzoare cu mai multe benzi, care permit redarea unui spectru larg de frecvenţe, cu distorsiuni reduse, întrucît se folosesc difuzoare adecvate fiecărei subgame.

Schematic, împărţirea spectrului audio este prezentată în fig. 7.21. Curbele trasate reprezintă nivelul tensiunilor la ieşirea filtrelor de separare. Alegerea numărului de subgame, precum şi a valorilor frecvenţelor de separare (f_c) se face în funcţie de parametrii difuzoarelor utilizate şi de caracteristica de frecvenţă cerută sistemului.

Astfel, cele mai utilizate frecvenţe de separare sînt cuprinse între 400 şi 800 Hz şi între 4 şi 5 kHz. Există multe difuzoare cu puteri de 6—8 W, ce permit redarea frecvenţelor joase şi medii, adică a frecvenţelor cuprinse între 40 Hz şi 5 kHz. Acestea se pot folosi ca difuzoare principale în cadrul unor sisteme simple, asemenea celor prezentate în fig. 7.22.

Frecvenţele mai mari de 5 kHz sînt redate cu difuzoare pentru frecvenţe înalte, a căror putere electrică poate fi chiar mai mică de 10% din puterea difuzorului principal. Conectarea ca în fig. 7.22, *a* se foloseşte atunci cînd impedanţele celor două difuzoare sînt aproximativ egale; cînd impedanţele diferă, se foloseşte montajul din fig. 7.22, *b*.

Valoarea capacitorului C poate fi determinată cu condiţia ca, la frecvenţa de separare, reactanţa capacitivă să fie egală în modul cu impedanţa difuzorului.

Conectarea difuzorului de FI nu strică adaptarea, ci dimpotrivă o îmbunătăţeşte, deoarece la frecvenţe mari impedanţa difuzorului principal creşte. Se pot conecta în paralel mai multe difuzoare principale sau de FI, cu condiţia asigurării unei sinfazări corecte. Se observă că în aceste cazuri la difuzorul principal se aplică întreg spectrul audio, dat de amplificatorul de putere.

Foarte răspîndite sînt sistemele ce utilizează *filtre* pentru separarea frecvenţelor transmise difuzoarelor.

În fig. 7.23 este prezentat modul de conectare al unor difuzoare principale (pentru frecvenţe medii şi joase) şi a unor difuzoare pentru frecvenţe înalte, dar cu aceeaşi impedanţă.

La frecvenţa de separare, reactanţa bobinei este egală cu reactanţa capacitorului şi cu impedanţa difuzorului. Deci fiecărui difuzor i se va aplica jumătate din puterea de ieşire a amplificatorului.

Din condiţia

$$\omega_c L = \frac{1}{\omega_c C} = |Z|$$

rezultă valoarea inductanţei şi capacităţii

$$L = \frac{|Z|}{2\pi f_c} 10^3 \text{ [mH]}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f_c |Z|} 10^6 \text{ [μF]} \qquad (7.1)$$

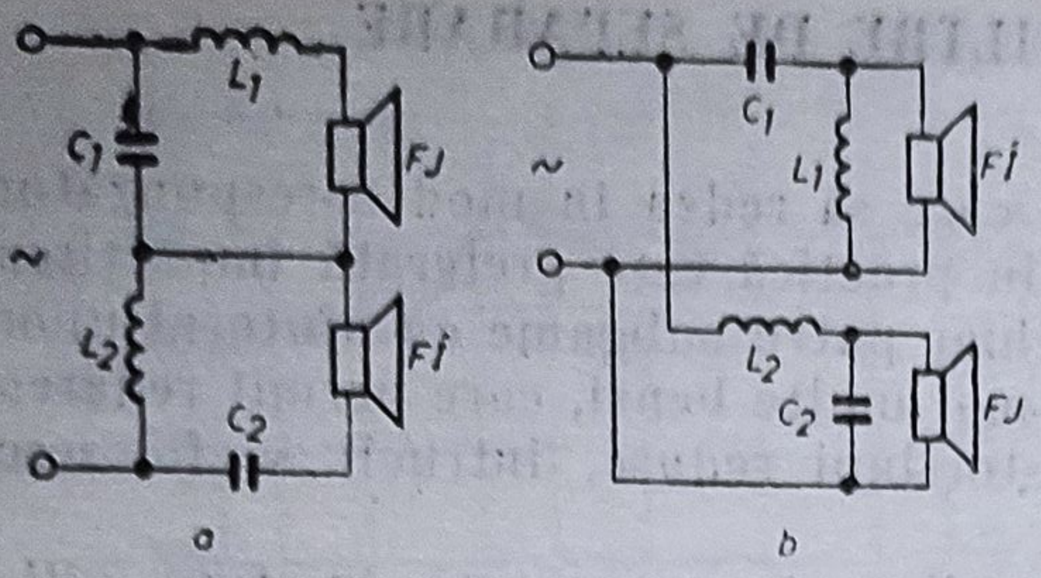


Fig. 7.21. Sistem cu două difuzoare cu filtre de separare (atenuare 12 dB/octavă): *a*) montaj serie; *b*) montaj derivaţie.

Impedanţa de intrare este egală cu impedanţa difuzorului.

Filtrele prezentate dau o atenuare de 6 dB/octavă în jurul frecvenţei de separare. De obicei însă se folosesc filtre care au atenuări mai mari, cu mai multe inductanţe şi capacităţi (fig. 7.24). Impedanţa de intrare este egală cu impedanţa unui difuzor, puterea de intrare împărţindu-se în mod egal între cele două difuzoare.

Caracteristica de frecvenţă prezintă atenuări de cca 12 dB/octavă. Valorile componentelor se determină cu realaţiile :

$$L_1 = L_2 = \frac{|Z|}{2{,}82\pi f_c}\,10^3 \ [\text{mH}]$$

$$C_1 = C_2 = \frac{1{,}41}{2\pi f_c\,|Z|}\,10^6 \ [\mu\text{F}] \qquad (7.2)$$

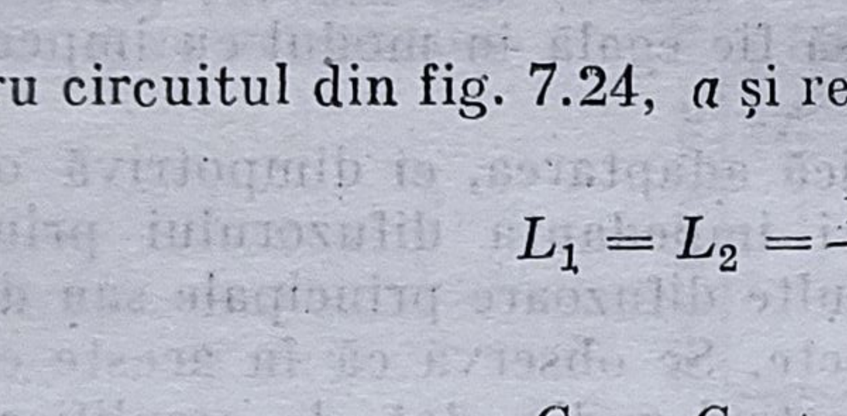
pentru circuitul din fig. 7.24, *a* şi respectiv :

$$L_1 = L_2 = \frac{1{,}41\,|Z|}{2\pi f_c}\,10^3 \ [\text{mH}]$$

$$C_1 = C_2 = \frac{10^6}{2{,}82\pi f_c\,|Z|} \ [\mu\text{F}] \qquad (7.3)$$

pentru varianta din fig. 7.24, *b*.

Prin creşterea numărului de bobine şi capacitoare se pot obţine filtre cu atenuări de 18 dB/octavă (fig. 7.25) dar fiind mult mai complicate se utilizează mai rar.



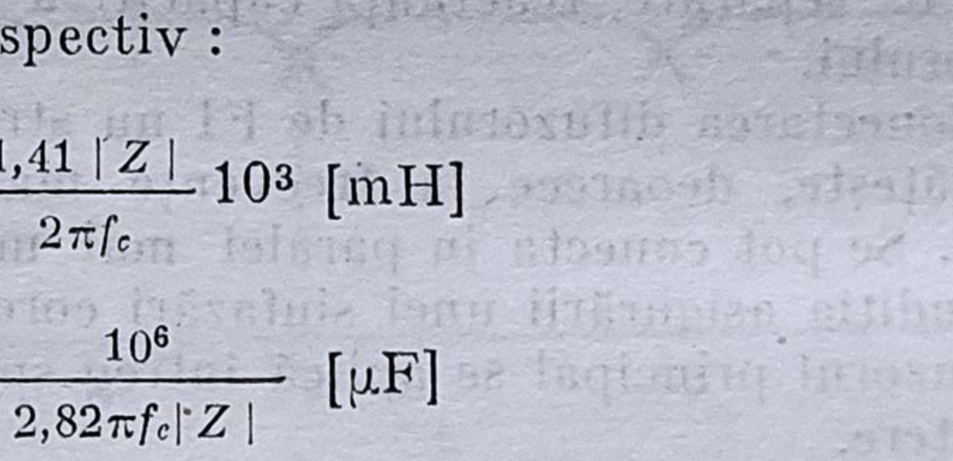


Fig. 7.25. *a*) Sistem de două difuzoare cu filtre de separare (atenuare 18 dB/octavă); *b*) caracteristica de frecvenţă a filtrelor.

Valorile componentelor se determină cu relaţiile :

$$L_1 = \frac{3\,|Z_1|}{2\pi f_c}\,10^3\ [\text{mH}], \qquad C_1 = \frac{2}{3\pi f_c\,|Z_1|}\,10^6\ [\mu\text{F}]$$

$$L_2 = \frac{|Z|}{4\pi f_c}\,10^3\ [\text{mH}], \qquad C_2 = \frac{1}{3\pi f_c\,|Z_2|}\,10^6\ [\mu\text{F}] \qquad (7.4)$$

$$L_3 = \frac{3|Z_2|}{8\pi f_c}\,10^3\ [\text{mH}], \qquad C_3 = \frac{1}{\pi f_c\,|Z_2|}\,10^6\ [\mu\text{F}]$$

Caracteristica de frecvenţă a filtrelor este prezentată în fig. 7.25 *b*.

O caracteristică de frecvenţă mai uniformă într-o gamă largă, precum şi distorsiuni de intermodulaţie mai mici, prezintă sistemele de difuzoare cu filtre de separare pentru *trei* benzi de frecvenţă. Se folosesc difuzoare separate pentru redarea frecvenţelor joase (*FJ*) medii (*FM*) şi înalte (*FÎ*).

Cînd impedanţele acestor difuzoare sînt egale, se utilizează schema din fig. 7.26 care constă în două filtre conectate în paralel. Primul filtru L_1C_1 permite trecerea spre difuzorul *FJ* a frecvenţelor $f < f_{c1}$. După trecerea prin filtrul L_2C_2 domeniul de frecvenţe $f > f_{c1}$ se împarte cu ajutorul filtrului L_3C_3 şi L_4C_4. Cele două perechi de filtre se calculează cu relaţiile (7.3) pentru f_{c1} şi respectiv f_{c2}.

În practică se folosesc şi sisteme mai simple, cu numai două benzi (o singură frecvenţă de separare) dar cu conectarea unui difuzor pentru FI printr-un capacitor (fig. 7.27, *a*) sau printr-un circuit serie (fig. 7.27, *b*). Schema din fig. 7.27, *a* prezintă dezavantajul unei anumite neuniformităţi a caracteristicii de frecvenţă în partea superioară a benzii audio, deoarece în această porţiune radiază atît difuzorul pentru FM, cît şi cel pentru FI.

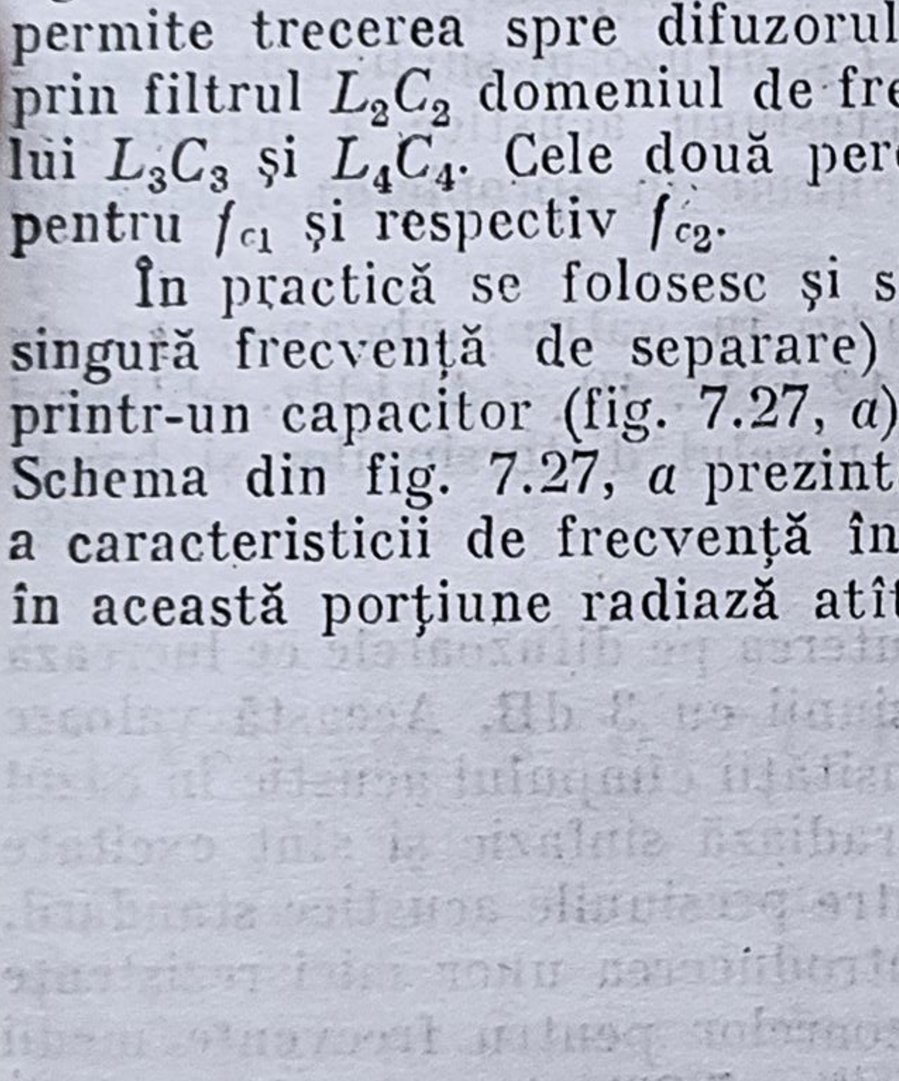


Fig. 7.26. Sistem de difuzoare cu filtre de separare pentru trei benzi de frecvenţă.

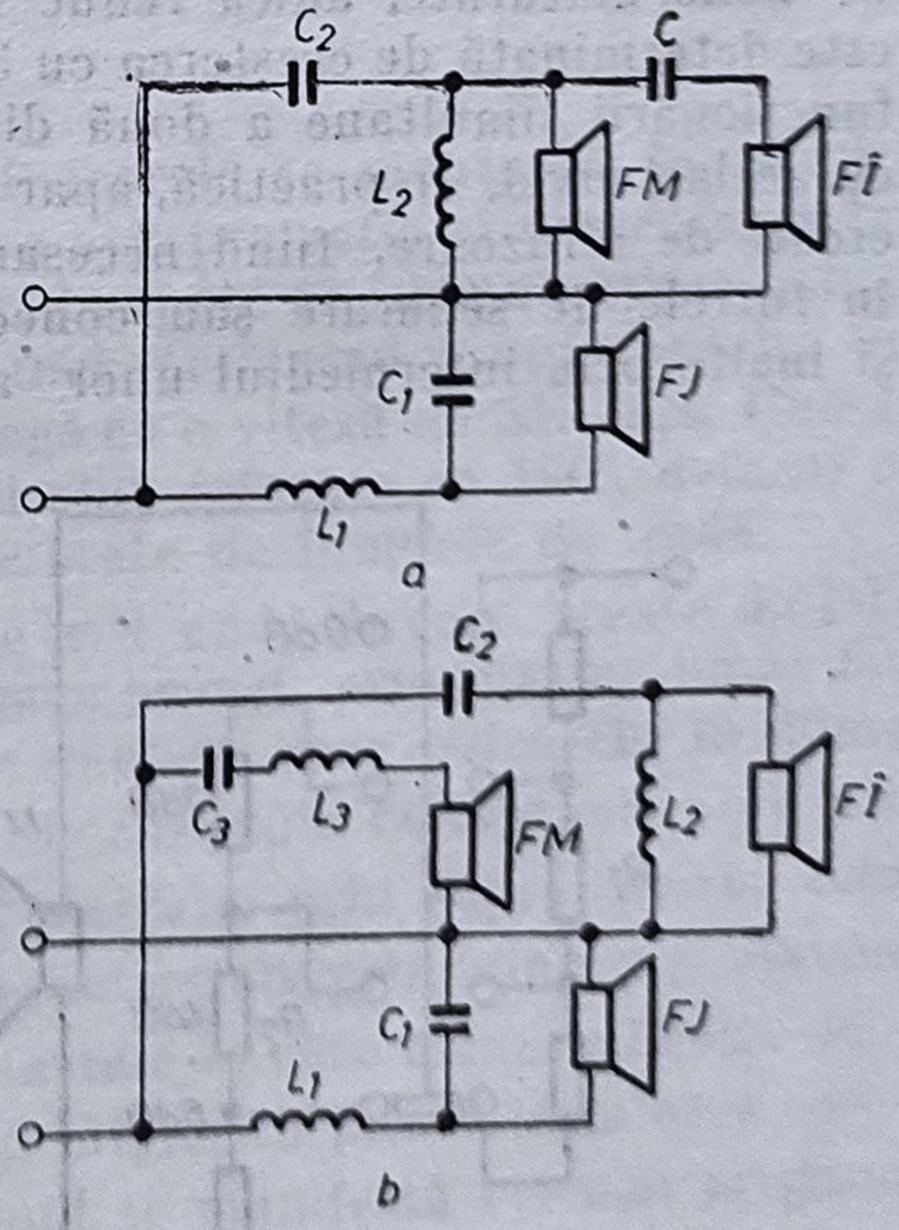


Fig. 7.27. Sistem de trei difuzoare cu filtre de separare pentru două benzi de frecvenţă : *a*) cu difuzorul de FI conectat prin capacitor ; *b*) cu difuzorul de FM conectat prin circuit serie.

Circuitul L_3C_3 din fig 7.27, *b* permite conectarea unui difuzor suplimentar pentru redarea frecvențelor medii, compensînd astfel scăderea eficienței difuzorului principal în acest domeniu și îmbunătățind calitatea audiției.

Elementele L_3 și C_3 se determină din condiția ca impedanța la rezonanță a circuitului serie, $\sqrt{\frac{L_3}{C_3}}$, să fie egală cu impedanța difuzorului, și anume :

$$L_3 = \frac{|Z|}{2\pi f_0} 10^3 \text{ [mH]} \qquad (7.5)$$

$$C_3 = \frac{10^6}{2\pi f_0 |Z|} \text{ [μF]}$$

unde f_0 este frecvența de rezonanță a circuitului, $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3C_3}}$.

Banda de trecere la 3 dB a circuitului serie depinde de rezistența difuzorului suplimentar, precum și de valoarea elementelor circuitului.

Prin alegerea adecvată a valorilor L_3 și C_3, difuzorul suplimentar se folosește uneori pentru compensarea scăderii presiunii acustice a difuzorului principal în domeniul frecvențelor joase, și anume în apropierea frecvenței de rezonanță mecanică.

Există și firme care împart spectrul audio în patru subgame, ca de exemplu 30 ÷ 300 Hz, 30 ÷ 1 200 Hz, 1 ÷ 12 kHz, 10 ÷ 40 kHz, obținînd performanțe superioare în ceea ce privește nivelul distorsiunilor și banda redată.

Sistemele descrise împart în mod egal puterea pe difuzoarele ce lucrează în benzi alăturate, adică reduc nivelul tensiunii cu 3 dB. Această valoare este determinată de creșterea cu 3 dB a intensității cîmpului acustic în cazul funcționării simultane a două difuzoare ce radiază sinfazic și sînt excitate cu același nivel. În practică, apar diferențe între presiunile acustice standard, create de difuzoare, fiind necesară uneori introducerea unor mici rezistențe în filtrele de separare sau conectarea difuzoarelor pentru frecvențe medii și înalte prin intermediul unor atenuatoare (fig. 7.28). Acestea sînt consti-

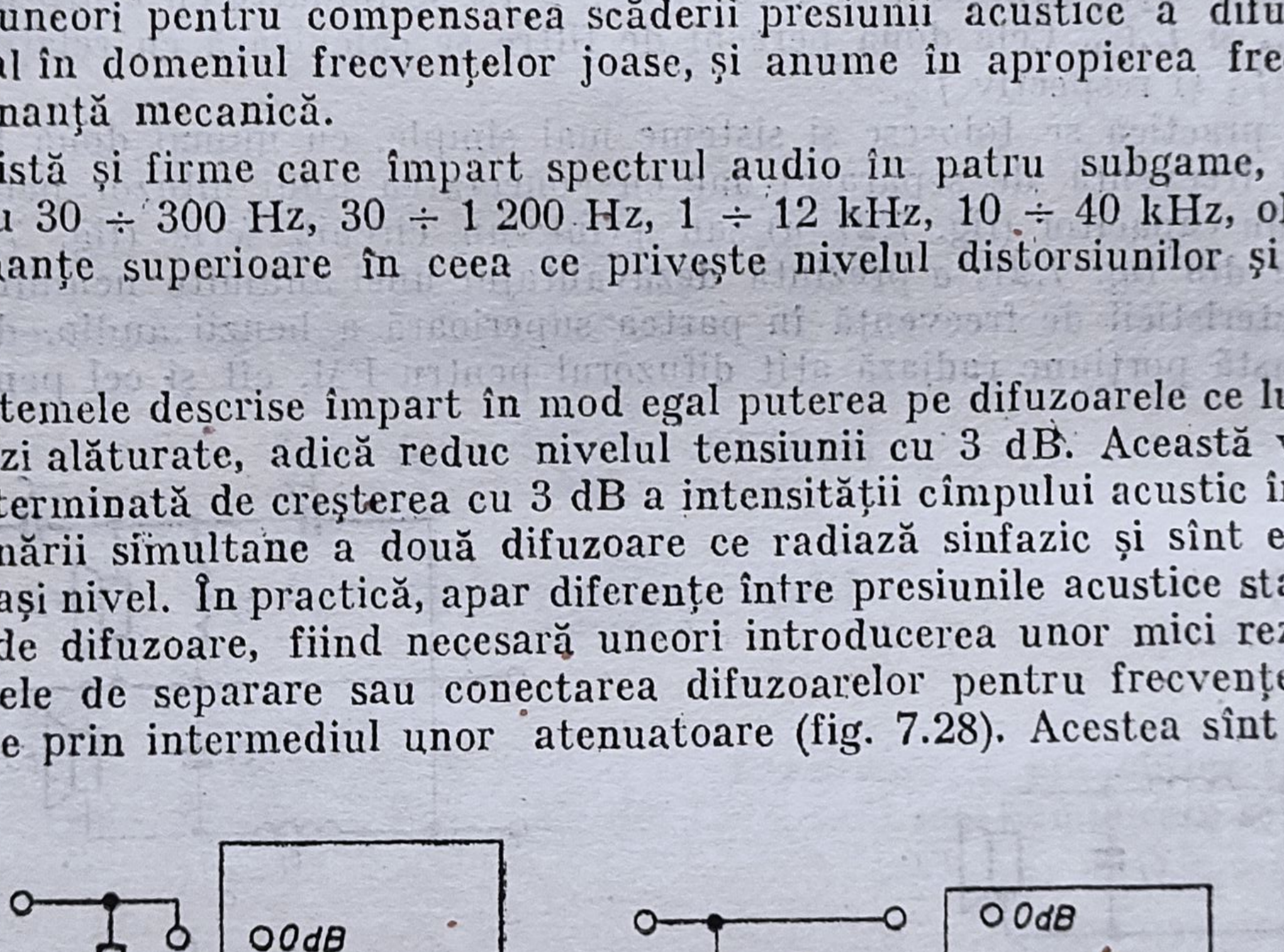


Fig. 7.28. Sistem de atenuatoare pentru difuzoare.

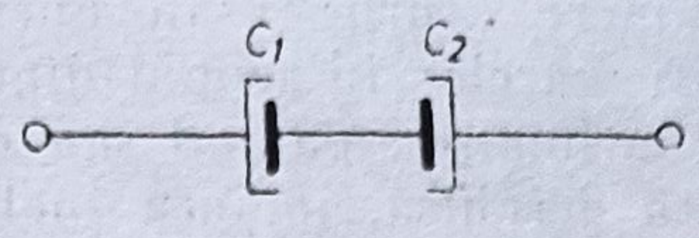


Fig. 7.29. Obținerea unui capacitor nepolarizat din două capacitoare polarizate.

tuite din rezistențe de valori mici și permit reglajul atenuării în trepte de cîte cca 2 dB. Unei atenuări de 2 dB îi corespunde o scădere a tensiunii și puterii acustice cu cca 20%. Rezistoarele serie (R_1) sau paralel (R_2) se calculează cu relațiile :

$$R_1 = |Z|(1 - K),\ R_2 = \frac{|Z|K}{1 - K} \tag{7.6}$$

unde K reprezintă coeficientul de transfer al atenuatorului, corespunzător diferitelor poziții ale comutatorului. Pentru atenuări de 2, 4, 6, 8, și 10 dB, valorile lui K sînt 0,8, 0,63, 0,5, 0,4 și respectiv 0,31. La atenuatorul din fig. 7.28 calculul începe cu atenuarea maximă.

Capacitoarele utilizate în filtre trebuie să fie nepolarizate. Se pot folosi capacitoare electrolitice, dacă se conectează ca în fig. 7.29.

La conectarea mai multor difuzoare în serie sau paralel, sau în sisteme cu filtre de separare, trebuie luate măsuri ca acestea să creeze unde sonore cu aceeași fază (să lucreze *sinfazic*), adică, la aplicarea unei tensiuni cu o anumită polaritate, toate membranele să se deplaseze în aceeași direcție. Condiția se îndeplinește ușor dacă inițial se verifică „polaritatea“ fiecărui difuzor cu ajutorul unei mici baterii de lanternă.

7.4. PANOURI ȘI INCINTE ACUSTICE

În funcție de destinația concretă, difuzoarele se montează în diferite sisteme acustice, urmărindu-se prin aceasta atît protecția și prezentarea lor estetică, cît și eliminarea efectelor undelor de spate și îmbunătățirea caracteristicii de frecvență. Deplasările membranei, acționînd asupra aerului înconjurător, creează unde sonore ce se propagă cu o viteză de 340 m/s. Undele sonore create de fața și spatele membranei sînt defazate cu 180°, defazaj ce corespunde unei diferențe de drum de jumătate de lungime de undă.

Dacă într-un punct de ascultare ajung atît unde directe, create de fața membranei, cît și unde create de spatele membranei, prin interacțiunea lor, cîmpul sonor se poate anula. Condițiile de anulare apar îndeosebi în domeniul frecvențelor joase (< 300 Hz), cînd dimensiunile membranei sînt mici în comparație cu lungimea de undă. În concluzie, prin suprapunerea celor două unde apar fenomene de interferență caracterizate prin minime și maxime de intensitate. Cîmpul devine maxim în punctele în care defazajul celor două unde corespunde unui număr întreg de λ și minim în punctele în care corespunde unui număr impar de $\lambda/2$. Fenomenul se manifestă cel mai pregnant pe axa difuzorului.

Interferențe pot crea și undele reflectate de obiectele înconjurătoare; de aceea, măsurarea difuzoarelor, precum și a sistemelor acustice, se face de regulă, în spațiu liber sau în camere speciale cu absorbții foarte mari,

denumite camere „surde" sau anecoide. Dintre metodele folosite pentru montarea difuzoarelor în scopul diminuării interferențelor amintite sînt prezentate în continuare : panoul sau ecranul acustic și incintele acustice, respectiv incinta deschisă, incinta închisă, incinta bass-reflex, labirintul acustic și pîlnia acustică.

7.4.1. PANOURI ACUSTICE

Așa cum am arătat, la frecvențele joase apare o egalizare a presiunilor față-spate la marginea membranei difuzorului, reducîndu-se astfel capacitatea de reproducere a acestora. Pentru a nu se produce egalizarea („scurtcircuitarea") presiunilor, trebuie mărit drumul față-spate. Aceasta se realizează practic cu ajutorul panourilor și incintelor acustice.

Ameliorarea reproducerii frecvențelor joase se face în modul cel mai simplu prin folosirea panourilor acustice. Să considerăm schița de principiu din fig. 7.30.

Panoul pe care s-a montat difuzorul va lungi mult drumul față-spate și astfel egalizarea presiunilor la frecvențele joase nu se va mai produce. Ca urmare, reproducerea frecvențelor joase nu va mai fi perturbată.

Cu cît frecvența pe care dorim s-o reproducem este mai joasă, cu atît suprafața panoului acustic trebuie să fie mai mare. De exemplu, lungimea de undă la frecvența de 100 Hz este de cca. 3 m. Pentru înlăturarea totală a perturbării redării acestei frecvențe, ar fi necesar un panou de 3 × 3 m. Dacă dorim să obținem același rezultat pentru frecvența de 30 Hz, dimensiunile panoului devin 12 × 12 m, ceea ce este imposibil de realizat.

Panourile pot avea forme pătrate, dreptunghiulare sau circulare. În cazul în care difuzorul se montează în centrul panoului, acestea se numesc *panouri plane simetrice*. În caracteristica de răspuns a unui difuzor montat în centrul panoului cu dimensiuni finite apar pronunțate neregularități. Între undele acustice radiate de cele două fețe ale membranei se stabilesc totuși interferențe care conduc la importante diferențe de nivel (fig. 7.31 — curba *1*). Pentru remedierea acestei diferențe s-a ajuns, experimental, la

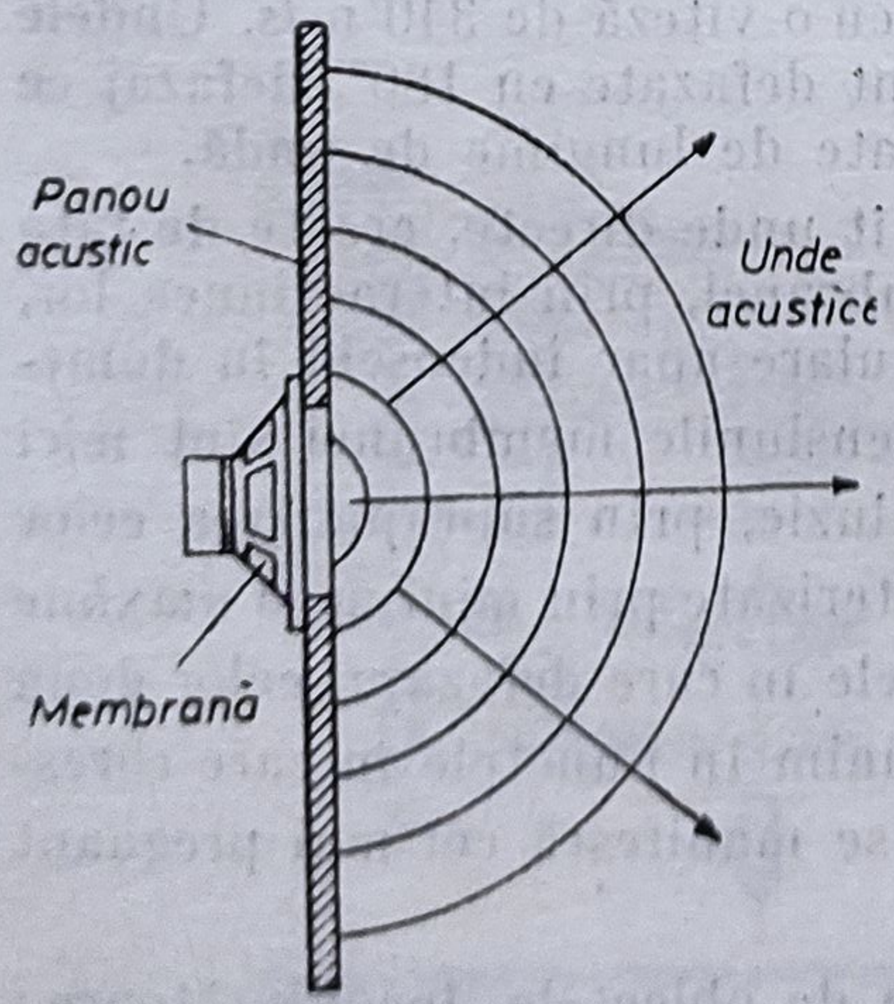


Fig. 7.30. Înlăturarea egalizării presiunii față-spate prin folosirea panoului acustic.

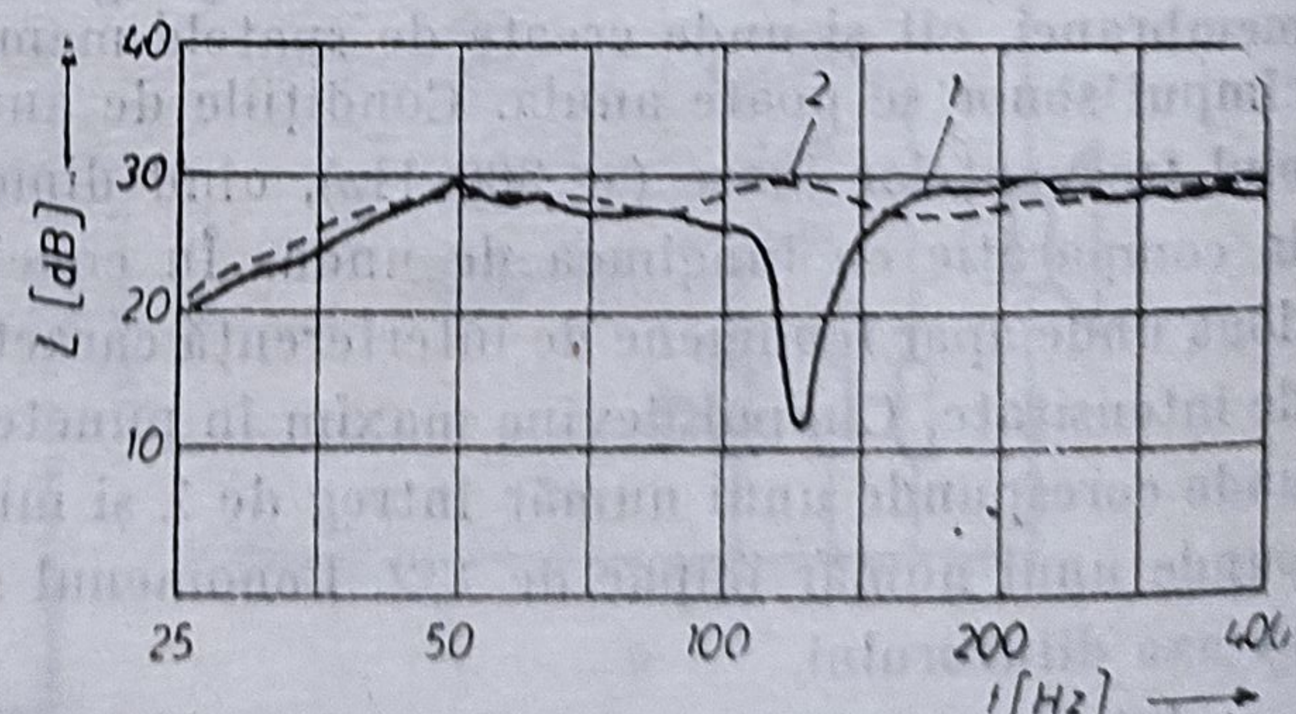


Fig. 7.31. *1)* Difuzor montat în centrul panoului ; *2)* Difuzor montat excentric.

soluția montării excentrice a difuzorului, obținîndu-se *panouri plane asimetrice*. La un panou asimetric difuzorul este montat excentric față de axele sale de simetrie. Traseele cu lungimi diferite ale undelor acustice, datorită montării excentrice a difuzorului, împiedică apariția defazajelor între semnalele emise de cele două fețe ale membranei, intervenind, în acest caz, un fel de repartizare a interferențelor într-un domeniu mai larg de frecvențe ; curba de răspuns se îmbunătățește (fig. 7.31 — curba 2).

Avînd în vedere că și în acest gen de panouri dimensiunile sînt destul de mari și sînt greu de folosit în practică, acestea s-au înlocuit cu *incinte acustice* pentru difuzoare.

Incintele acustice pot fi considerate ca niște panouri acustice, care au fost îndoite lateral — păstrîndu-și astfel suprafața mare — și la care s-a închis, cu un capac, partea din spate. Variantele constructive ale incintelor acustice sînt numeroase.

7.4.2. INCINTE ACUSTICE

Modificarea frecvenței proprii de rezonanță a difuzorului este în funcție de doi factori. Pe de o parte, de mărimea volumului incintei închise, pe de altă parte, de mărimea suprafeței membranei. Cu cît volumul incintei este mai mare și aria efectivă a membranei este mai mică, cu atît modificarea frecvenței de rezonanță va fi mai mică. Situația cea mai defavorabilă este cînd avem montat un difuzor mare, într-o incintă de volum mic.

Difuzoarele cu suprafață mică a membranei și cu frecvență de rezonanță mică (10—12 Hz) dau rezultate satisfăcătoare și în incinte de volum mic, însă din cauza suprafeței mici a membranei randamentul este foarte mic. Acest tip de radiatoare acustice necesită atacarea cu puteri mari, deoarece, din cauza suprafeței mici a membranei, la puteri mici presiunea sonoră la frecvențe joase ar fi foarte mică. La puteri de excitație mari (aplicate difuzorului) presiunea sonoră crește și în domeniul frecvențelor joase și se obține senzația sonoră respectivă. Cu privire la modificarea frecvenței de rezonanță merită să prezentăm cîteva exemple. Dacă montăm un difuzor, cu diametrul membranei de 150 mm și frecvența proprie de rezonanță de 30 Hz într-o incintă închisă de 6 dm^3, frecvența de rezonanță se modifică la 75 Hz. Dacă diametrul este de 300 mm și frecvența de rezonanță de 18 Hz, iar volumul incintei este de 50 dm^3, atunci frecvența de rezonanță va fi de 45 Hz.

A. Incinte acustice deschise

Incintele acustice *deschise* (fig. 7.32) se întîlnesc frecvent în practică, de exemplu la majoritatea radioreceptoarelor și televizoarelor. În marea lor majoritate casetele unor astfel de aparate, sînt de fapt niște incinte deschise. Peretele din spatele incintei, perforat într-o proporție de cel puțin 30% și realizat dintr-un material ușor (cum este de pildă cartonul), nu asigură o separare completă a celor două fețe ale membranei difuzorului.

Funcționarea unei incinte deschise depinde de dimensiunile sale ; incinta se comportă ca un rezonator Helmoltz, adică este caracterizată de o frecvență proprie de rezonanță dată de relația

$$f_0 = 5\,460 \frac{\sqrt[4]{S}}{\sqrt{V}} \quad [\text{Hz}] \qquad (7.7)$$

în care S = suprafața deschiderii din spate (cm^2), V = volumul incintei acustice (cm^3).

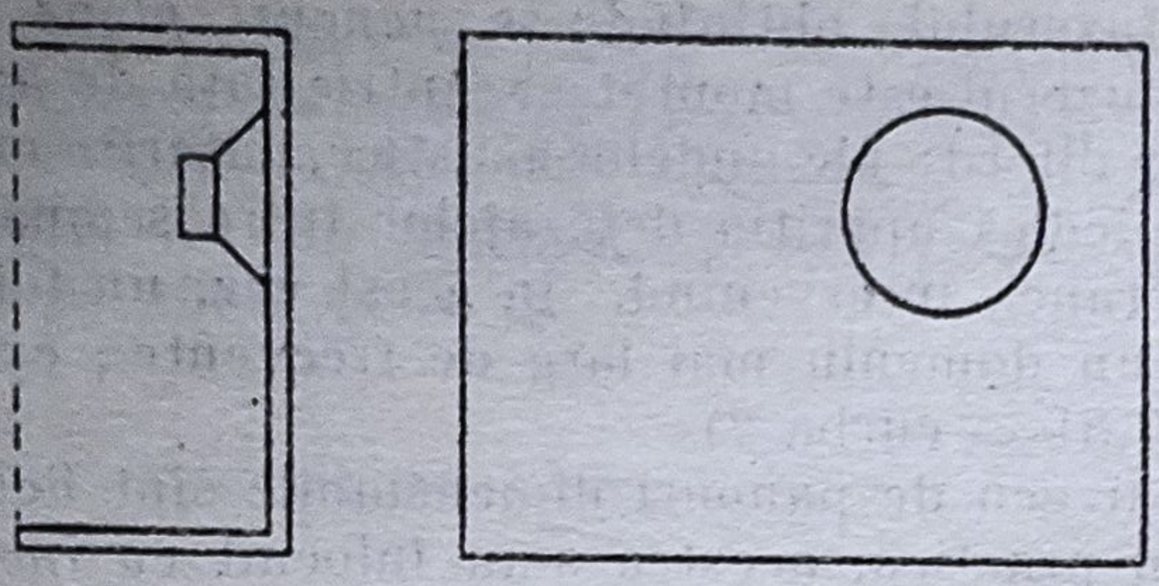


Fig. 7.32. Incinta acustică deschisă.

Experiențele cu diferite incinte și difuzoare au arătat că cea mai bună redare a frecvențelor joase se obține dacă frecvența de rezonanță a incintei este de 1,2 ÷ 3 ori mai mare decît frecvența proprie de rezonanță a difuzorului. Dacă aceasta diferă mai mult, se înrăutățește caracteristica de redare a frecvențelor joase.

Frecvențele proprii de rezonanță mici se obțin numai cu incinte deschise voluminoase.

Rezultate mai bune se obțin dacă se ține seama de concluzia de la panourile acustice, ca poziția de fixare a difuzoarelor pe panoul frontal să fie excentrică.

B. Incinte acustice închise

Prin închiderea spațiului incintei teoretic se înlătură posibilitatea producerii scurtcircuitării acustice a undelor, în schimb mediul elastic din interiorul incintei acționează asupra membranei difuzorului (fig. 7.33). Teoretic, prin creșterea volumului incintei închise, se poate obține o asemenea valoare, încît masa de aer din incintă să nu creeze forțe antagoniste, consirabile, care acționează asupra membranei. În acest fel, nu s-ar modifica semnificativ valoarea frecvenței de rezonanță. Pentru stabilirea dimensiunilor incintei, ar fi necesar să se cunoască și forța elastică a suportului (elastic) al membranei, măsurarea căreia nu este deloc o chestiune simplă.

În principiu, pentru incintele închise se recomandă utilizarea unor difuzoare cu diametre și frecvențe de rezonanță reduse. Reducerea influenței incintei asupra frecvenței de rezonanță a difuzorului se obține și prin alegerea corespunzătoare a volumului incintei. Se poate utiliza în acest sens relația :

$$V \geqslant 125\, D^2 \ [\mathrm{cm}^3] \qquad (7.8)$$

unde D = diametrul membranei difuzorului în cm.

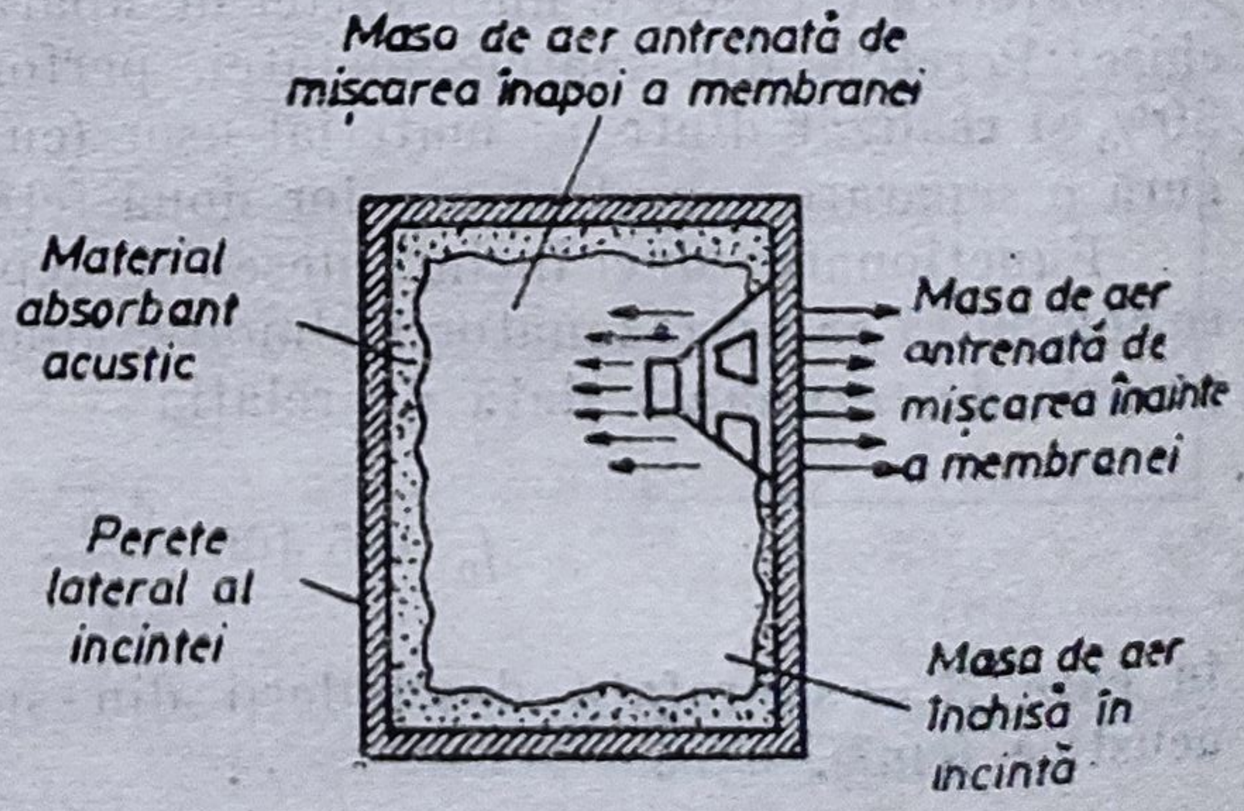


Fig. 7.33. Schița secțiunii unei incinte acustice închise.

Dacă în aceeaşi incintă se montează două sau mai multe difuzoare cu diametrele D_1, D_2 etc., în relaţia de mai sus se foloseşte „diametrul echivalent“

$$D_e = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + \dots} \qquad (7.9)$$

Pentru două difuzoare identice : $D_e = 1{,}41\ D$.

În ceea ce priveşte valorile dimensiunilor incintelor paralelipipedice, se recomandă ca între acestea să existe rapoartele 1 : 1,41 ; 2, asigurîndu-se astfel o bună stabilitate şi un aspect plăcut. În acest caz volumul incintei este

$$V = 2{,}82\ A^3 \qquad (7.10)$$

unde A e latura mică a incintei.

Invers, dacă se cunoaşte volumul, dimensiunile optime se calculează cu relaţiile :

$$A = \sqrt[3]{\frac{V}{2{,}28}},\ B = 1{,}41\ A \text{ şi } C = 2\ A \qquad (7.11)$$

A, B şi C au semnificaţia indicată în fig. 7.36 (pag. 180).

Pe lîngă modificările frecvenţei de rezonanţă a difuzorului, la frecvenţe mari volumul de aer închis în incintă crează şi rezonanţe secundare.

Acestea contribuie la mărirea neuniformităţii de frecvenţă. La frecvenţele la care distanţa dintre pereţii laterali, paraleli, ai incintei sînt egali cu un multiplu întreg de jumătăţi de lungimi de undă, apar unde staţionare, care determină maxime şi minime ale intensităţii sonore, deci o redare neliniară. Pentru înlăturarea acestora se procedează la amortizarea acustică a pereţilor interiori ai incintei. În acest scop se căptuşesc pereţii interiori cu un strat fonoabsorbant de 40–50 mm de vată sau material spongios, care are rol de absorbant acustic.

O cerinţă importantă este aceea de a realiza pereţii incintei din material rigid şi de grosime suficientă, înlăturîndu-se astfel posibilitatea apariţiei unor oscilaţii sau vibraţii mecanice nedorite.

Pereţii incintei, datorită influenţei presiunii din interiorul cutiei, pot intra în oscilaţie pe anumite frecvenţe. Aceste frecvenţe depind de masa şi elasticitatea materialului din care este confecţionată incinta. Apariţia vibraţiilor perturbatoare ale pereţilor incintei poate crea sunete nedorite şi influenţează negativ caracteristicile de reproducere ale incintei. Prin utilizarea, la confecţionarea incintelor, a plăcilor de lemn de grosime corespunzătoare, întărite la îmbinări cu şipci de lemn, se obţine o reducere suficientă a vibraţiilor pereţilor incintelor.

Apariţia undelor staţionare este înlăturată prin amortizarea corespunzătoare cu materiale absorbante a pereţilor interiori ai incintei ; odată cu acesta însă este absorbită şi energia sonoră pe care o produce membrana în mişcarea ei spre spate (spre interiorul incintei). Din această cauză, randamentul va scădea la jumătate, şi odată cu aceasta şi puterea acustică radiată.

Faţă de aceste dezavantaje, incintele acustice închise sînt totuşi foarte răspîndite. Aceasta se explică prin faptul că realizarea lor constructivă este simplă, sînt uşor reproductibile la scară industrială (deoarece nu necesită reglaje speciale). Aşa cum se va vedea în cele ce urmează, la incintele cu deschidere este necesară realizarea operaţiei complicate de *acordare*, lucru care la scară industrială este neeconomic.

C. Incinte acustice cu deschideri-reflex

Atunci cînd o undă sonoră se loveşte de un obstacol rigid, ea se reflectă, schimbîndu-şi faza cu 180°. Ca urmare, dacă la o incintă acustică închisă vom practica o deschidere pe panoul frontal, de dimensiuni stabilite, într-un loc corespunzător, proprietăţile acustice iniţiale se vor modifica. Undele sonore din spatele membranei difuzorului se reflectă pe peretele din spatele incintei (care trebuie să fie cît mai rigid) şi ca urmare îşi schimbă faza cu 180° şi se propagă prin deschiderea practicată în exterior ajungînd în final în fază cu undele sonore produse în faţa membranei difuzorului.

Dintre *incintele acustice cu deschidere reflex*, cele mai răspîndite sînt aşa numitele incinte „bass-reflex" care sînt cunoscute şi sub numele de „incinte cu inversor de fază (fazoinversor)". Deschiderea, de formă circulară sau dreptunghiulară, este situată de obicei pe acelaşi panou pe care sînt montate difuzoarele şi se comportă ca un rezonator, constituind un radiator suplimentar de sunet.

Dimensiunile acestor deschideri se calculează în aşa fel încît *frecvenţa lor proprie de rezonanţă* să fie aproximativ egală cu frecvenţa de rezonanţă a difuzoarelor neintroduse în incintă.

Considerăm incinta bass-reflex din fig. 7.34 şi notăm cu f_r şi f_r' frecvenţele de rezonanţă ale difuzorului liber şi, respectiv, introdus în incintă. Pentru frecvenţe mai mari decît f_r' difuzorul radiază normal. Pe măsură ce frecvenţa semnalelor scade sub f_r', scade rapid cîmpul radiat de difuzor, dar

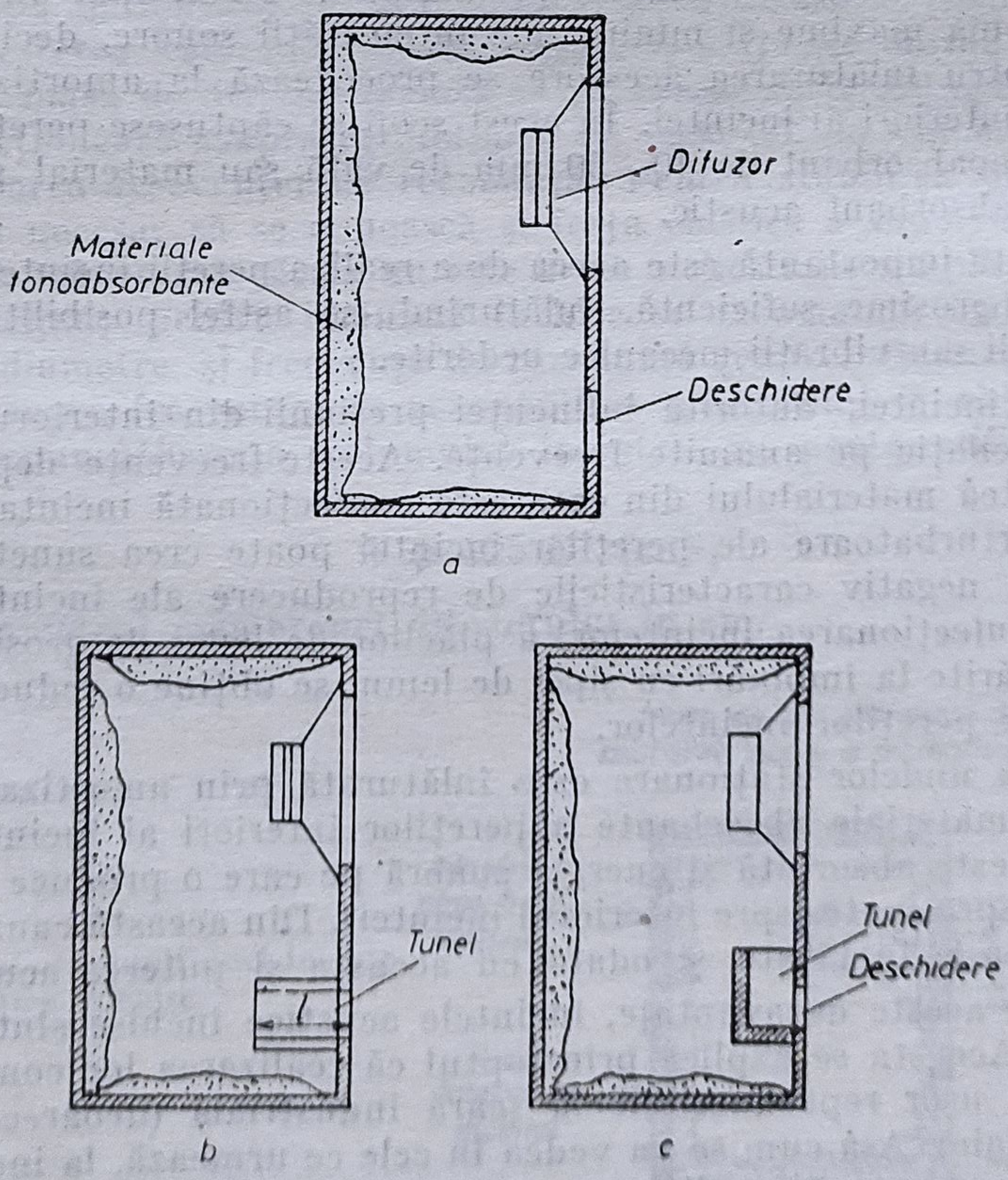


Fig. 7.34. Incinte bass-reflex: *a*) cu fantă; *b*) cu tunel; *c*) cu tunel şi fantă.

crește cîmpul creat de fanta practicată în perete, deoarece ne apropiem de frecvența ei proprie de rezonanță, egală cu cea a difuzorului liber (f_r). Astfel atunci cînd $f = f_r$, cîmpul radiat de difuzor e neesențial, dar cel creat de fantă este maxim. Deci, datorită funcționării sinfazice a celor două radiatoare (difuzorul și deschiderea) în acest interval de frecvență, incinta bass-reflex crează un cîmp acustic aproximativ constant pînă la frecvența f_r. Pentru frecvențe mai mici ca f_r cîmpurile create de difuzor și deschidere sînt mici și în antifază, ceea ce determină scăderea rapidă a amplitudini cîmpului total. Pentru a îmbunătăți performanțele rezonante ale deschiderii aceasta se realizează adesea sub forma unor *tunele* cu secțiunea circulară sau dreptunghiulară (fig. 7.34, *b*, *c*).

Incintele trebuie să fie rigide și se vor confecționa din lemn de fag sau panel, fixat prin lipire sau holțșuruburi. Grosimea pereților variază între 15 și 30 mm, în funcție de volum. Pereții interiori laterali se căptușesc cu materiale fonoabsorbante ; pe peretele din spate se pun materiale fonoabsorbante numai dacă acest lucru este necesar, și de grosime corespunzătoare rezultatului dorit. Construite corect, incintele bass-reflex nu numai că îmbunătățesc caracteristica de redare a frecvențelor joase, dar contribuie și la micșorarea distorsiunilor neliniare ce apar la difuzoare în jurul frecvenței de rezonanță mecanică.

Impedanța difuzorului montat în incintă se prezintă ca în fig. 7.35. Se remarcă prezența a două maxime, corespunzătoare rezonanței difuzorului și deschiderii, dar cu amplitudini mai mici decît maximul impedanței difuzorului singur. Graficul s-a trasat pe baza datelor experimentale măsurate cu un difuzor cu diametrul de 18 cm și o incintă cu volum de 95 dm³. Pentru comparație, pe același grafic s-a trasat și curba măsurată pentru același difuzor, dar cu incinta închisă (deschiderea astupată).

Calculul incintelor bass-reflex constă în determinarea dimensiunilor acestora, precum și a dimensiunilor tunelului și a deschiderii. Aceasta presupune cunoașterea exactă a parametrilor difuzorului (frecvența de rezonanță, elasticitatea și masa sistemului mobil, diametrul bobinei etc.). *Suprafața deschiderii* reprezintă 20—40% din suprafața difuzorului ; în cazul în care se utilizează tunel de trecere se poate ajunge la 75%, dacă se folosesc deschideri simple. Dacă se notează cu K raportul dintre lungimea și lățimea fantei, volumul incintei poate fi determinat cu relația

$$V = \frac{5460^2 S K^{0,12}}{f_r^2 (L + S^{0,5})} \text{ [cm}^3\text{]} \qquad (7.12)$$

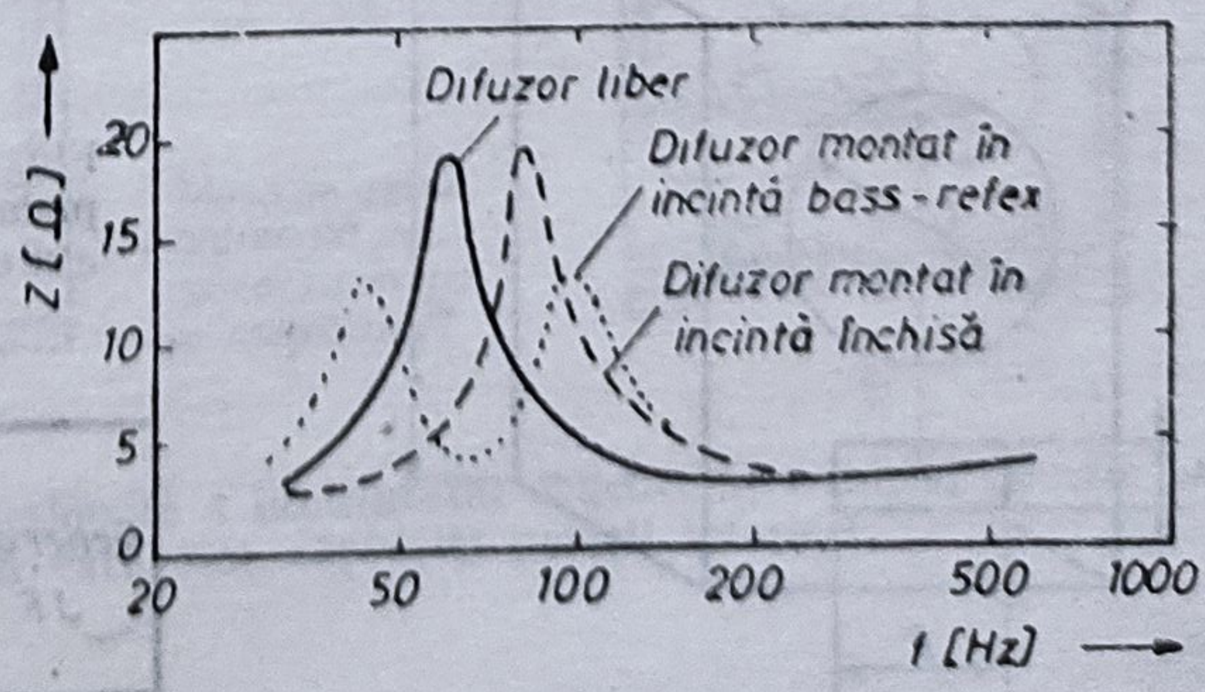


Fig. 7.35. Graficul impedanței unui difuzor montat într-o incintă acustică.

Creşterea lungimii (L) a tunelului determină reducerea volumului pentru o anumită suprafaţă (S) a deschiderii şi o anumită frecvenţă de rezonanţă (f_r).

Dacă deschiderea este circulară, constanta K este unitară ($K = 1$).

Exemplu. Să se determine dimensiunile unei incinte bass-reflex pe care se montează un difuzor cu diametrul $D = 18$ cm şi $f_r = 54$ Hz.

Alegem o deschidere-reflex circulară cu diametrul de 8 cm, deci

$$S = 50{,}26 \text{ cm}^2 \text{ şi } K = 1.$$

Alegem lungimea tunelului, $L = 10$ cm, şi calculăm volumul necesar:

$$V = \frac{5\,460^2 \cdot 50{,}26 \cdot 1}{54^2 \cdot (10 + 50{,}26^{0,5})} = 30\,069 \text{ cm}^3 \approx 30 \text{ dm}^3$$

Determinăm dimensiunile interioare (vezi fig. 7.36) optime şi anume:

$A = 22$ cm, $B = 31$ cm şi $C = 44$ cm.

Tabelul 7.2

Diametrul difuzorului [cm]	Frecvenţa de rezonanţă [Hz]
20	45...150
25	40...100
30	30... 80
38	25... 55
45	20... 40

Cînd nu există posibilitatea măsurării frecvenţelor de rezonanţă, acestea se pot aprecia în funcţie de diametrul difuzorului, folosind datele din tabelul 7.2. Amatorii preferă adesea utilizarea nomogramelor sau a tabelelor gata calculate pentru dimensionarea incintelor. Astfel în tabelul 7.3 sînt prezentate datele necesare realizării unor incinte avînd forma celei din fig. 7.36 în cazul utilizării unor difuzoare cu diametre diferite.

Incinta se poate *acorda* simplu folosind o bucată de placaj cu care se obturează deschiderea. Se măsoară în permanenţă impedanţa difuzorului pentru a determina rezonanţa, folosind metoda din fig. 7.37. Prin comutarea generatorului de joasă frecvenţă de pe difuzor pe o sarcină etalonată (R), se urmăreşte obţinerea aceleiaşi indicaţii la voltmetrul V. În acest moment, impedanţa este egală cu valoarea rezistenţei etalon.

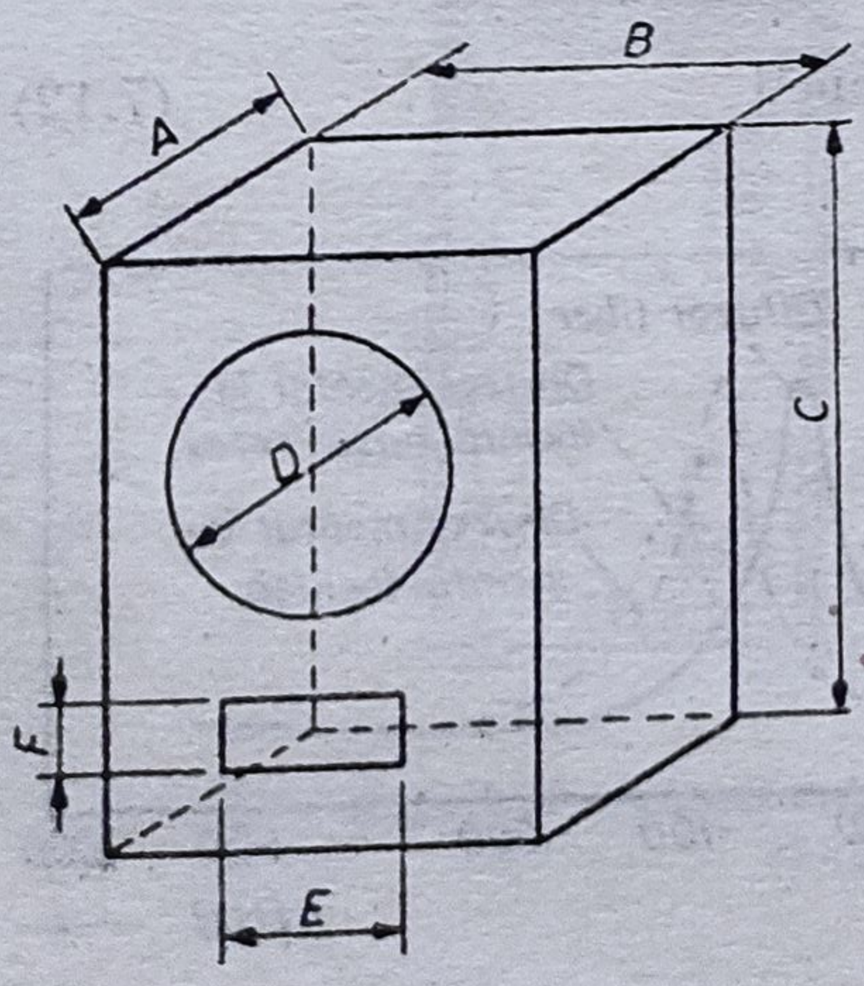


Fig. 7.36. Elementele constructive ale unei incinte bass-reflex.

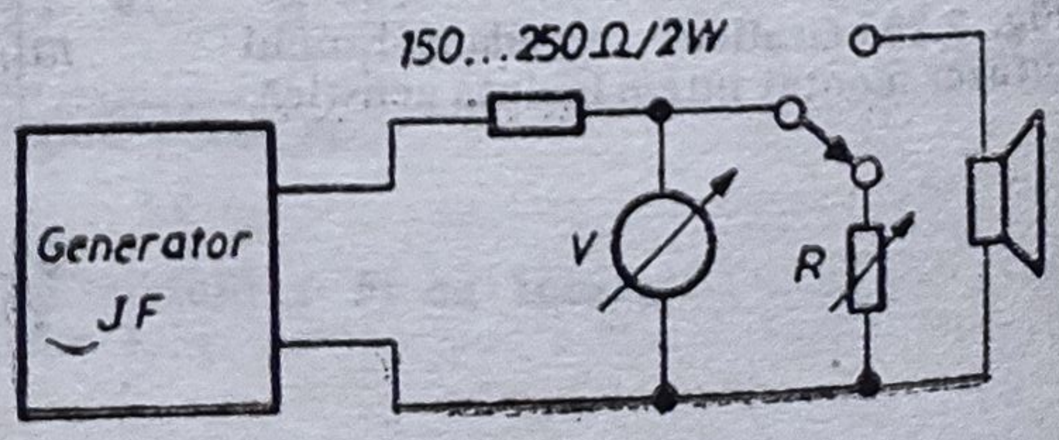


Fig. 7.37. Montaj pentru măsurarea impedanţei unui difuzor: R — rezistenţă etalonată; V — voltmetru electronic.

Tabelul 7.3

Diametrul difuzorului [cm]	Volumul incintei [dm³]	*A* [cm]	*B* [cm]	*C* [cm]	*D* [cm]	*E* [cm]	*F* [cm]
44	210	42	59,5	84	40	40	14
37	165	39	54,5	77,5	34	34,5	1
30	117	34,5	49	69	28	26,6	14,2
25	89,3	31,5	45	63	22,8	27,6	10,8
20	61,1	28	39	56	17,5	17,5	9,2
15	34,4	23	32,5	46	14	14	8,9

D. Incinta acustică cu labirint

Labirintul acustic a fost descris pentru prima dată de H. F. Olson, în urmă cu aproximativ treizeci de ani. Din secțiunea prezentată în fig. 7.38 se observă că labirintul acustic reprezintă, de fapt, o incintă separată în mai multe secțiuni care comunică între ele. Prin desfășurarea secțiunilor se obține un tub, închis la capătul în care este amplasat difuzorul și deschis la celălalt capăt. Cuplînd un difuzor cu un labirint acustic, rezultatele sînt asemănătoare cu cele obținute în cazul incintei bass-reflex și anume: se mărește sarcina pe spatele membranei și se asigură posibilitatea de a utiliza, pentru radiația frontală, unda acustică generată de spatele difuzorului.

Este cunoscut faptul că, dimensionînd un tub astfel încît lungimea sa să fie egală cu sfertul lungimii de undă a sunetului transmis, cele două mărimi caracteristice, presiunea acustică și viteza sunetului, au un mod de vibrație ca acela prezentat în fig. 7.39. La frecvențele care satisfac această condiție, impedanța acustică are o valoare scăzută la capătul deschis și o valoare ridicată la extremitatea închisă (cea la care se află montat difuzorul). În felul acesta, pentru un anumit domeniu de frecvențe se asigură difuzorului sarcina dorită. Pentru aceleași valori ale frecvențelor se produce și o întîrziere în propagarea undei generate de spatele membranei, în așa fel încît undele acustice produse de ambele fețe ale acesteia să fie în fază.

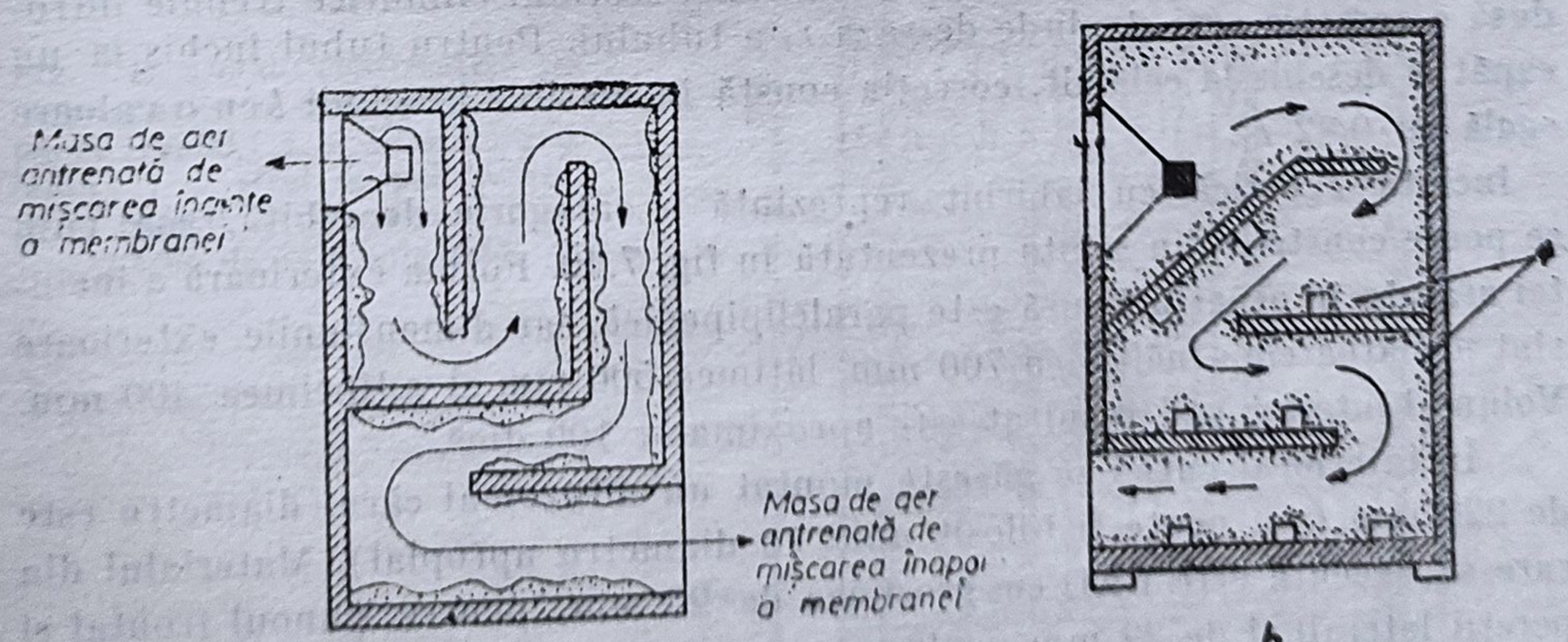
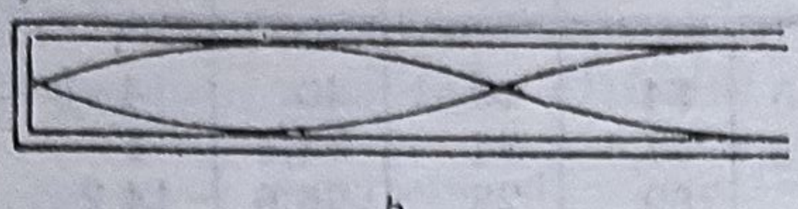


Fig. 7.38. *a*) Schița modului de funcționare a labirintului acustic. *b*) Labirint acustic; *1* — material poros cu care sînt căptușiți pereții interiori.

a



b

Fig. 7.39. Modul de variație a vitezei acustice într-un tub închis la un capăt : *a*) frecvența fundamentală ; *b*) prima frecvență armonică.

Deci, în această situație, întocmai ca în cazul utilizării incintelor bass-reflex, se realizează îmbunătățirea răspunsului la frecvențe joase. Mijloacele sînt, însă, în cele două situații, diferite : incinta bass-reflex funcționează cu un rezonator de tip Helmholtz, pe cînd labirintul acustic are ca element de bază un tub acordat pe sfertul lungimii de undă (analog tuburilor de la orgă).

Este totuși necesar să se precizeze că acest mod de vibrație a aerului din interiorul labirintului se produce nu numai pentru o singură frecvență, ci pentru toate frecvențele care satisfac egalitatea

$$l = (2n + 1)\frac{\lambda}{4} \qquad (7.13)$$

în care

l este lungimea tubului în m, n — un număr întreg (1, 2, 3, ..), λ — lungimea de undă a sunetului reprodus.

Pentru toate aceste frecvențe (care sînt de fapt armonicele impare ale sunetului fundamental corespunzător lui $n = 0$), se produc o serie de rezonanțe care introduc denivelări accentuate în răspunsul cu frecvența al ansamblului incintă-difuzor și care în cazul armonicelor superioare devin supărătoare. Evitarea acestor neajunsuri este posibilă prin căptușirea pereților labirintului cu un material poros, fonoabsorbant. O contribuție la reducerea amplitudiniilor de la rezonanță o aduc și schimbările de direcție a tubului, specifice, de altfel, oricărei incinte labirint.

Determinarea lungimii labirintului se face cu ajutorul relației 7.13 în care se consideră $n = 0$.

Rayleigh a demonstrat că în cazul unei secțiuni cilindrice trebuie introdusă o corecție care depinde de raza r_t a tubului. Pentru tubul închis la un capăt și deschis la celălalt, corecția constă în mărirea lungimii l cu o valoare egală cu 0,82 r_t.

Incinta acustică cu labirint reprezintă o categorie deosebită, așa cum se poate constata din schița prezentată în fig. 7.40. Forma exterioară a incintei arătate în această figură este paralelipipedică, iar dimensiunile exterioare sînt următoarele : înălțimea 700 mm, lățimea 500 mm și adîncimea 400 mm. Volumul interior util rezultat este aproximativ 100 dm³.

În interiorul cutiei se găsește montat un difuzor al cărui diametru este de 220 mm (sau poate fi folosit unul cu diametru apropiat). Materialul din care se execută este PAL cu grosimea de 25 mm, pentru panoul frontal și pereții laterali și de 22 mm pentru peretele din spate. Panourile din interior, care delimitează pereții labirintului, sînt de asemenea confecționați din panel cu grosimea de 25 mm.

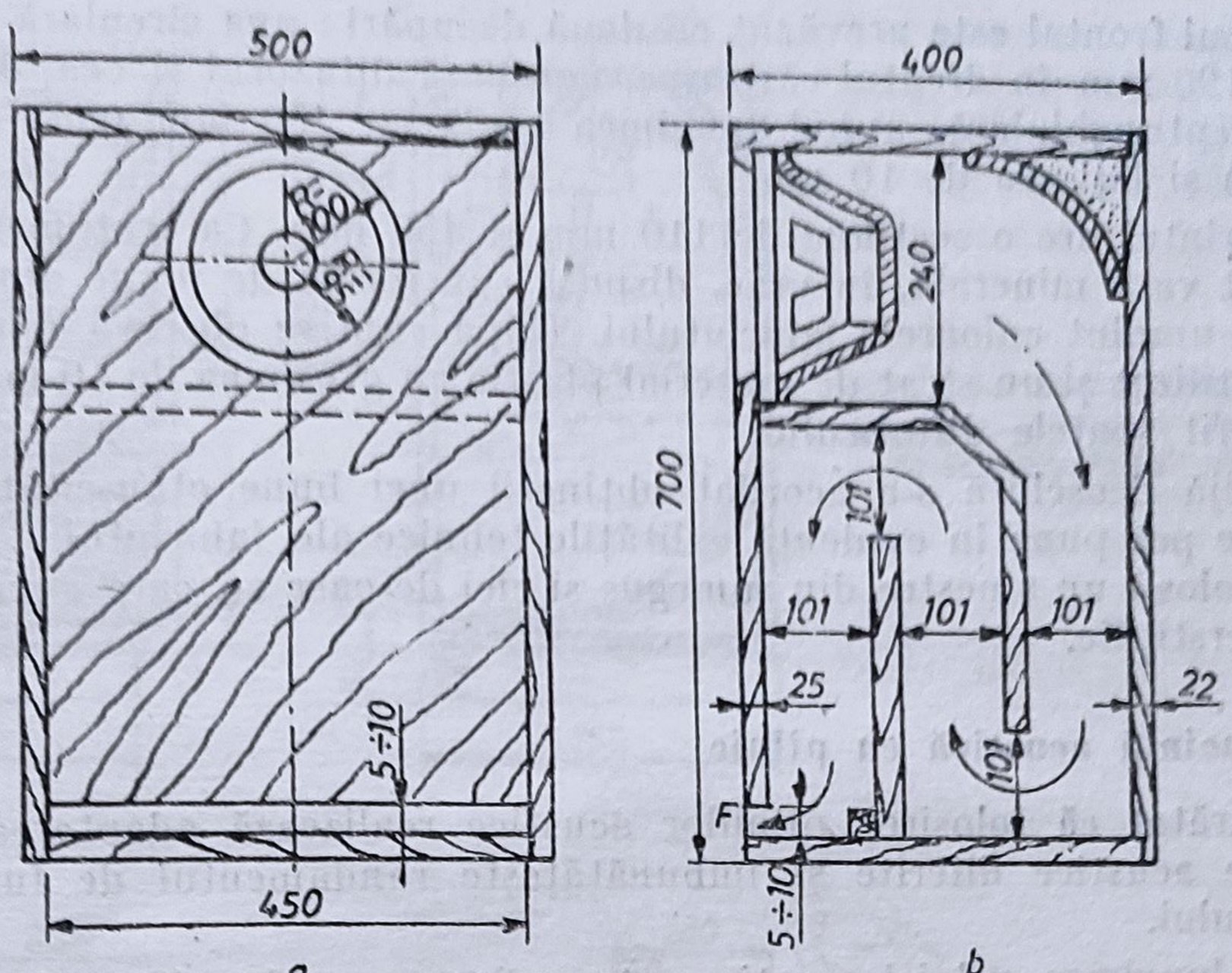


Fig. 7.40. Incintă acustică cu labirint : *a*) vedere frontală ; *b*) secţiune longitudinală.

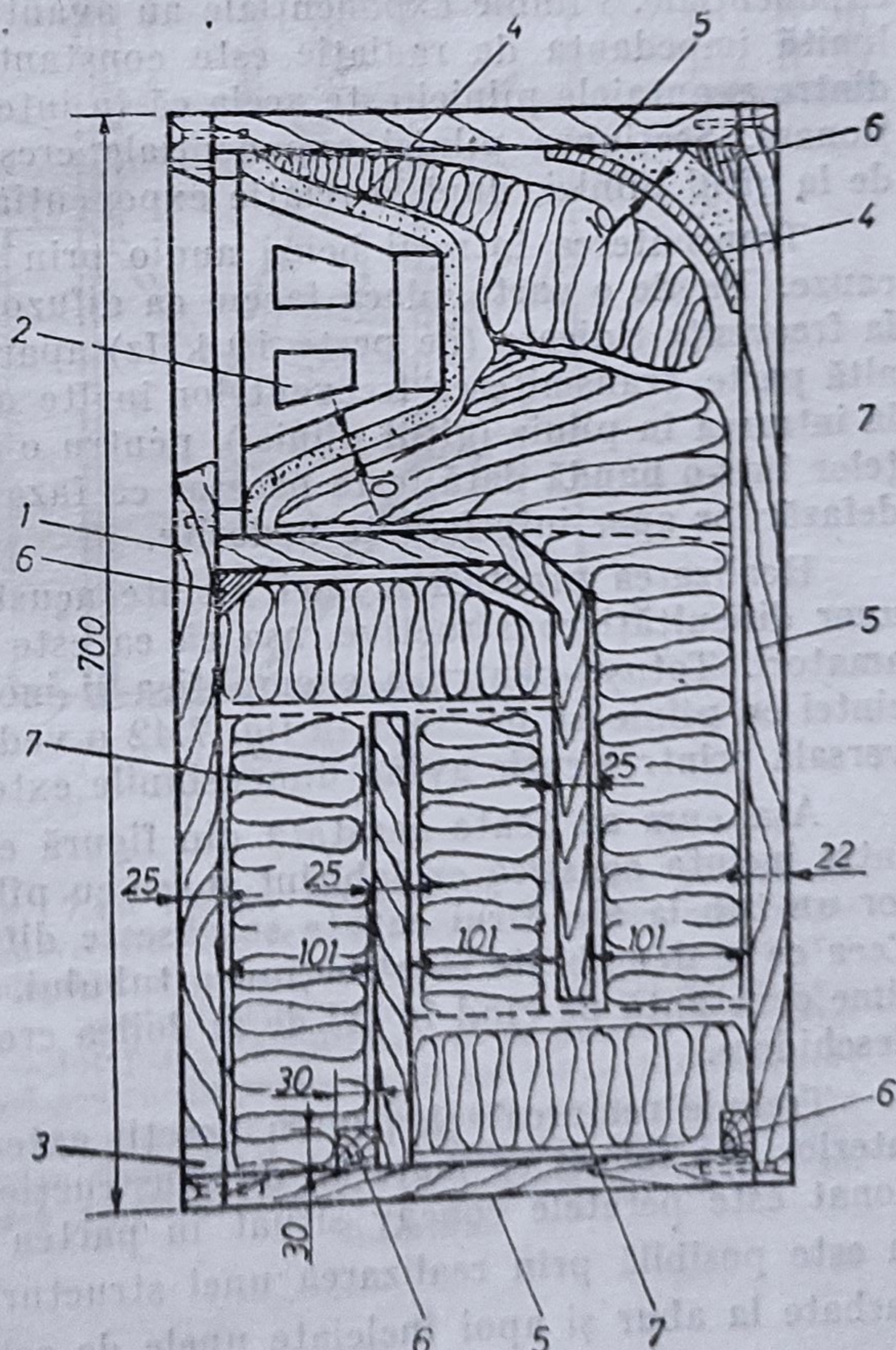


Fig. 7.41. Detalii constructive ale incintei acustice cu labirint : *1* — panou frontal ; *2* — difuzor ; *3* — fantă ; *4* — strat de poliuretan ; *5* — pereţi ; *6* — cusac ; *7* — perne de vată minerală.

Panoul frontal este prevăzut cu două decupări : una circulară cu diametrul de 190 mm în dreptul căreia se montează difuzorul şi cea de a doua formă dreptunghiulară, avînd lungimea egală cu 450 mm (cota interioară a casetei) şi lăţimea de 10 mm.

Labirintul are o secţiune de 110 mm × 450 mm. Ca tratament acustic s-a folosit vata minerală, în vrac, dispusă sub formă de perne din pînză cu care s-au umplut culoarele labirintului. După cum se observă din fig. 7.41 s-a mai utilizat şi un strat de material plastic cu grosimea de 10 mm cu care s-a acoperit spatele difuzorului.

O grijă deosebită s-a acordat obţinerii unei bune etanşeităţi fără de care nu se pot pune în evidenţă calităţile tehnice ale labirintului. În acest scop s-a folosit un amestec din rumeguş şi clei de oase cu care s-au acoperit toate interstiţiile.

E. Incintă acustică cu pîlnie

S-a arătat că folosirea pîlniilor acustice realizează adaptarea a două impedanţe acustice diferite şi îmbunătăţeşte randamentul de funcţionare al difuzorului.

Dacă lungimea pîlniei acustice este mai mare ca lungimea de undă radiată, se poate considera pîlnia infinit lungă. Dacă însă lungimea de undă este mai mare ca lungimea pîlniei se produce fenomenul de reflexie. Secţiunea poate fi de mai multe forme, cele mai des utilizate fiind pîlniile conice şi cele exponenţiale. Pîlniile exponenţiale au avantajul că sub o anumită frecvenţă limită impedanţa de radiaţie este constantă şi de valoare ridicată. Unul dintre avantajele pîlniei este acela că în interiorul ei nu se creează unde staţionare. Secţiunea pîlniei exponenţiale creşte odată cu creşterea distanţei de la gîtul pîlniei, după o relaţie exponenţială.

Transmiterea întregii benzi audio prin pîlnii nu este posibilă din două cauze. Pe de o parte, dacă facem ca difuzorul să radieze integral în pîlnie, la frecvenţe ridicate (de peste 10 kHz) apar distorsiuni inadmisibile. Pe de altă parte, transmiterea frecvenţelor înalte mai este limitată şi de faptul că, la intrarea în pîlnie (gîtul pîlniei), pentru o transmitere uniformă a frecvenţelor într-o bandă dată, este necesar ca faza undelor să fie aceeaşi. În cazul defazărilor apar interferenţe nedorite.

Realizarea practică a unei incinte acustice cu pîlnie implică depăşirea unor dificultăţi constructive, aşa că ea este mai puţin recomandată pentru amatori. Totuşi, pentru a exemplifica şi modul de realizare practică al incintei cu pîlnie se prezintă în fig. 7.42 o vedere frontală şi o secţiune transversală printr-o cutie avînd dimensiunile exterioare 1 120 × 1 080 × 750 mm.

Aşa cum se poate constata din figură există o asemănare de principiu între incinta acustică cu labirint şi cea cu pîlnie. Ambele conţin în interiorul lor un tub la ale cărui capete se găseşte difuzorul şi respectiv deschiderea. Ceea ce le deosebeşte este secţiunea tubului, care în primul caz este de mărime constantă pe cînd în cel de al doilea creşte progresiv de la difuzor spre deschidere.

Trebuie remarcat că pentru pereţii exteriori, cît şi pentru cei plani, din interior, s-a folosit ca material de construcţie panelul. Mai dificil de confecţionat este peretele concav situat în partea inferioară a casetei. Execuţia sa este posibilă prin realizarea unei structuri din mai multe foi de placaj curbate la abur şi apoi încleiate unele de celelalte sub presiune.

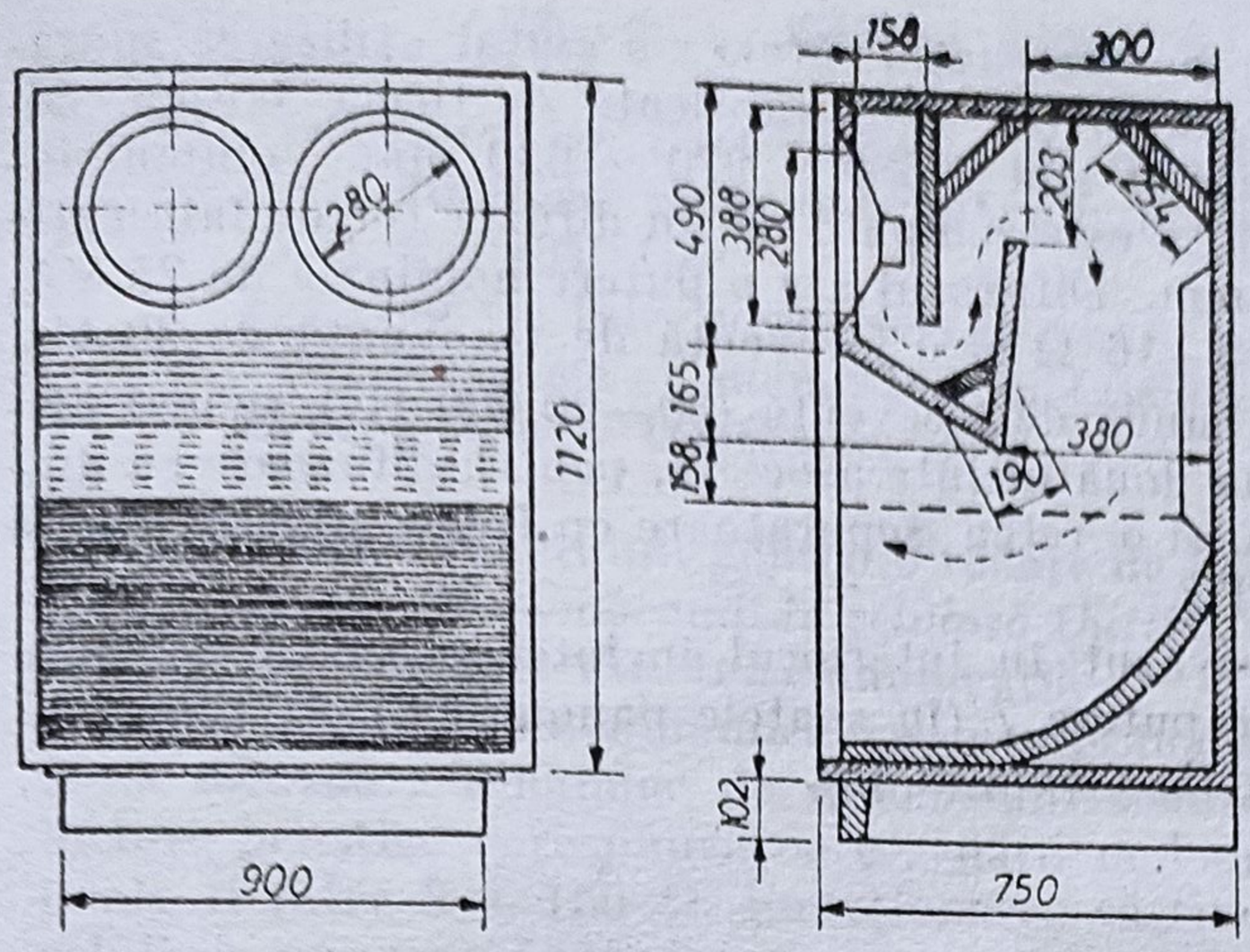
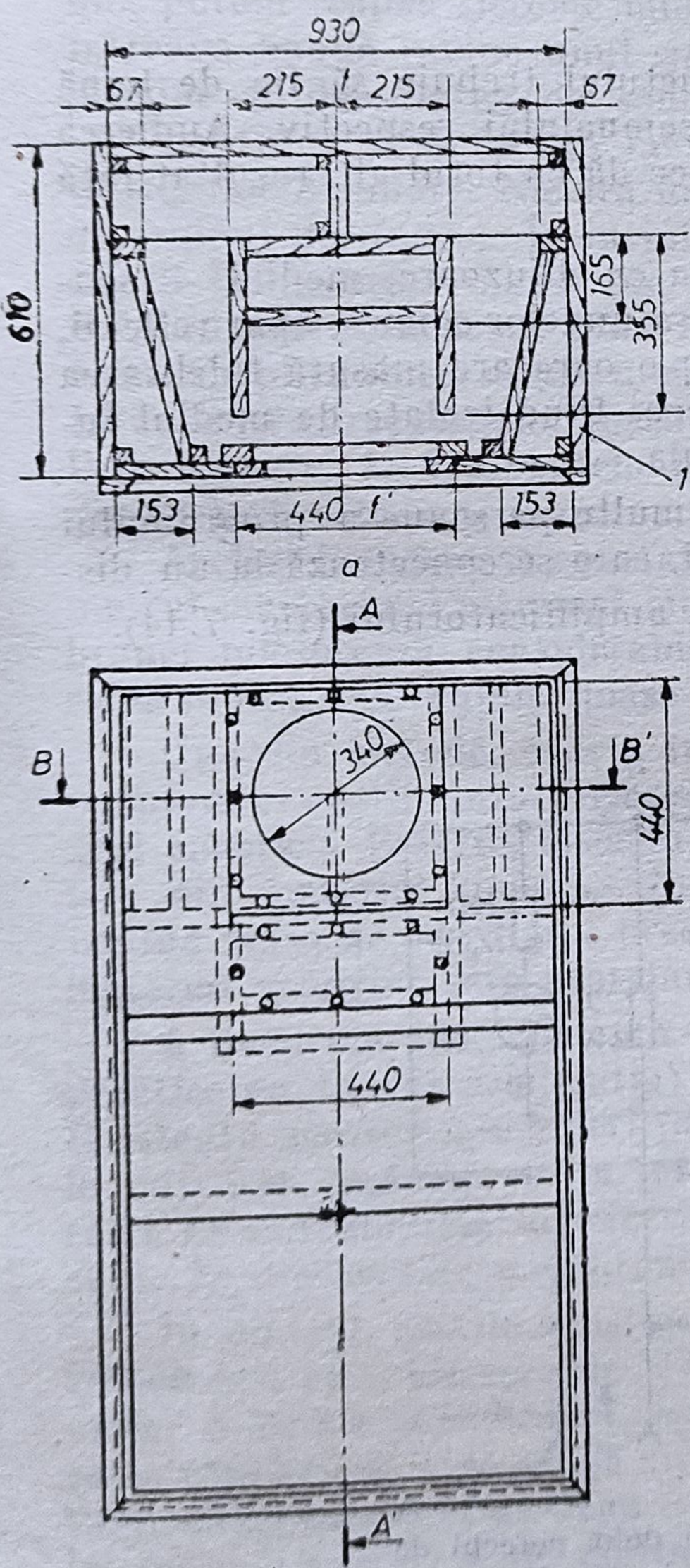


Fig. 7.42. Incintă acustică cu pîlnie: *a*) vedere frontală; *b*) secțiune longitudinală.



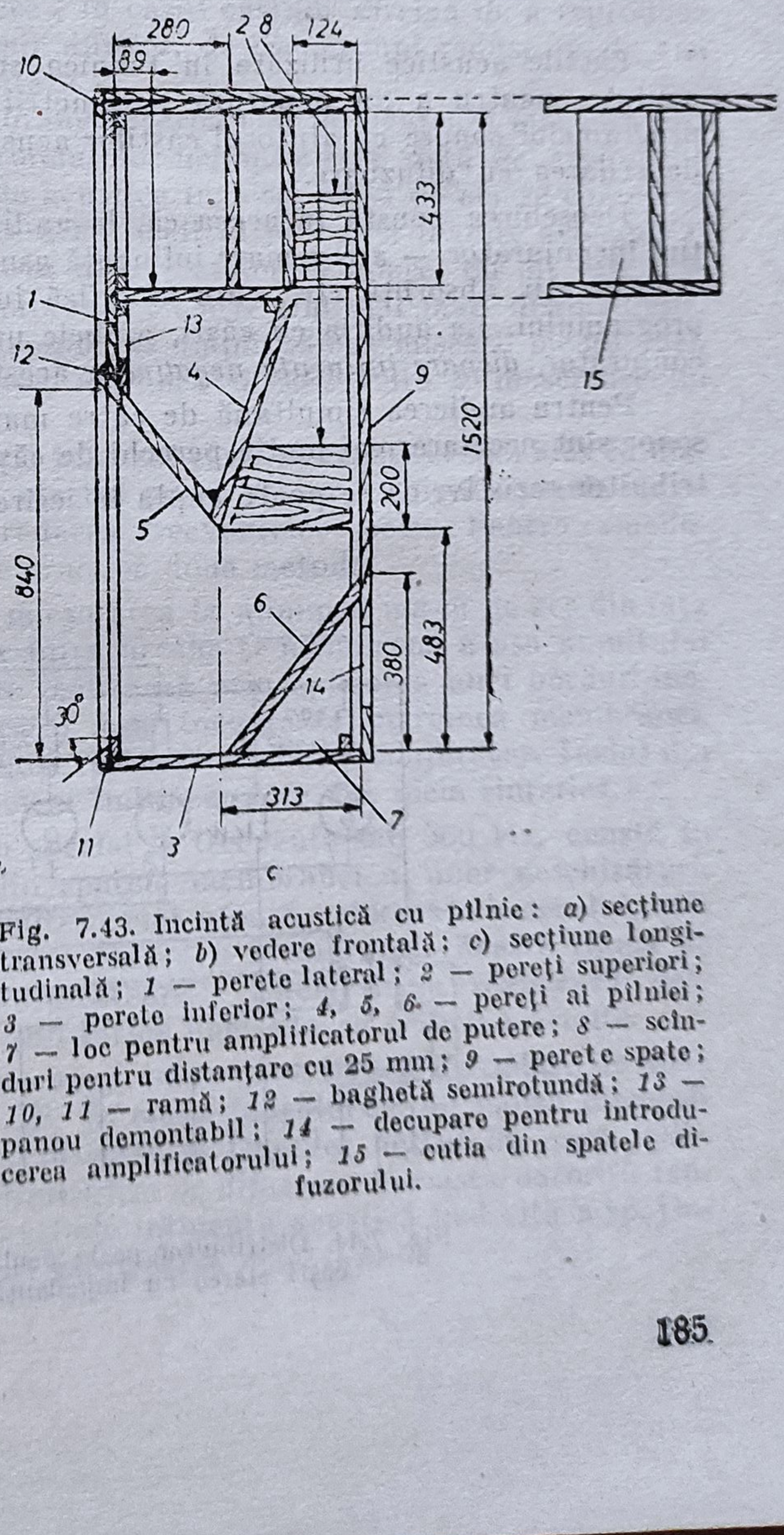


Fig. 7.43. Incintă acustică cu pîlnie: *a*) secțiune transversală; *b*) vedere frontală; *c*) secțiune longitudinală; *1* — perete lateral; *2* — pereți superiori; *3* — perete inferior; *4, 5, 6* — pereți ai pîlniei; *7* — loc pentru amplificatorul de putere; *8* — șcînduri pentru distanțare cu 25 mm; *9* — perete spate; *10, 11* — ramă; *12* — baghetă semirotundă; *13* — panou demontabil; *14* — decupare pentru introducerea amplificatorului; *15* — cutia din spatele difuzorului.

O altă incintă cu pîlnie, la construcţia căreia s-a evitat utilizarea suprafeţelor curbe, este cea indicată în fig. 7.43, fabricată de firma Jensen. Dimensiunile exterioare ale casetei sînt 1 580 × 970 × 630 mm, volumul interior fiind de 810 dm ^{3}. Incinta este echipată cu un difuzor tot de fabricaţie Jensen cu diametrul de 382 mm. Difuzorul are o putere nominală de 25 VA, o impedanţă nominală de 15—16 Ω şi o frecvenţă de rezonanţă de 30 Hz.

Pentru a reda întreaga bandă de frecvenţă (30—20 000 Hz), se mai utilizează în afara acestei incinte două incinte asociate, pentru difuzoare cu diametre de 254 mm şi 127 mm, şi o reţea separatoare cu frecvenţele de tăiere cu valori de 800 Hz şi 5 000 Hz.

Constructorul a mai prevăzut în interiorul incintei şi spaţii necesare atît pentru amplificatorul de putere 7 (în spatele panoului 6) cît şi pentru reţeaua de separare (în spatele panoului 13).

7.5. CĂŞTI ACUSTICE

Căştile acustice utilizate în tehnica sunetului trebuie să fie de bună calitate, pentru a nu denatura parametrii semnalului respectiv. Audierea programelor sonore cu ajutorul căştilor acustice dă cu totul alt rezultat faţă de redarea cu difuzoare.

Deosebirea constă în aceea că, la audiţia cu difuzoare, mediul — spaţiul înconjurător — are o mare influenţă asupra undelor sonore, apar reflexii, reverberaţii, absorbţii etc., care modifică într-o oarecare măsură fidelitatea programului. La audiţia cu căşti, ambele urechi fiind izolate de mediul înconjurător, *dispare influenţa negativă* a acestuia.

Pentru audierea simultană de către mai multe persoane a programului sonor sînt necesare mai multe perechi de căşti, care se conectează la un distribuitor rezistiv, ce se poate cupla la ieşirea amplificatorului (fig. 7.44).

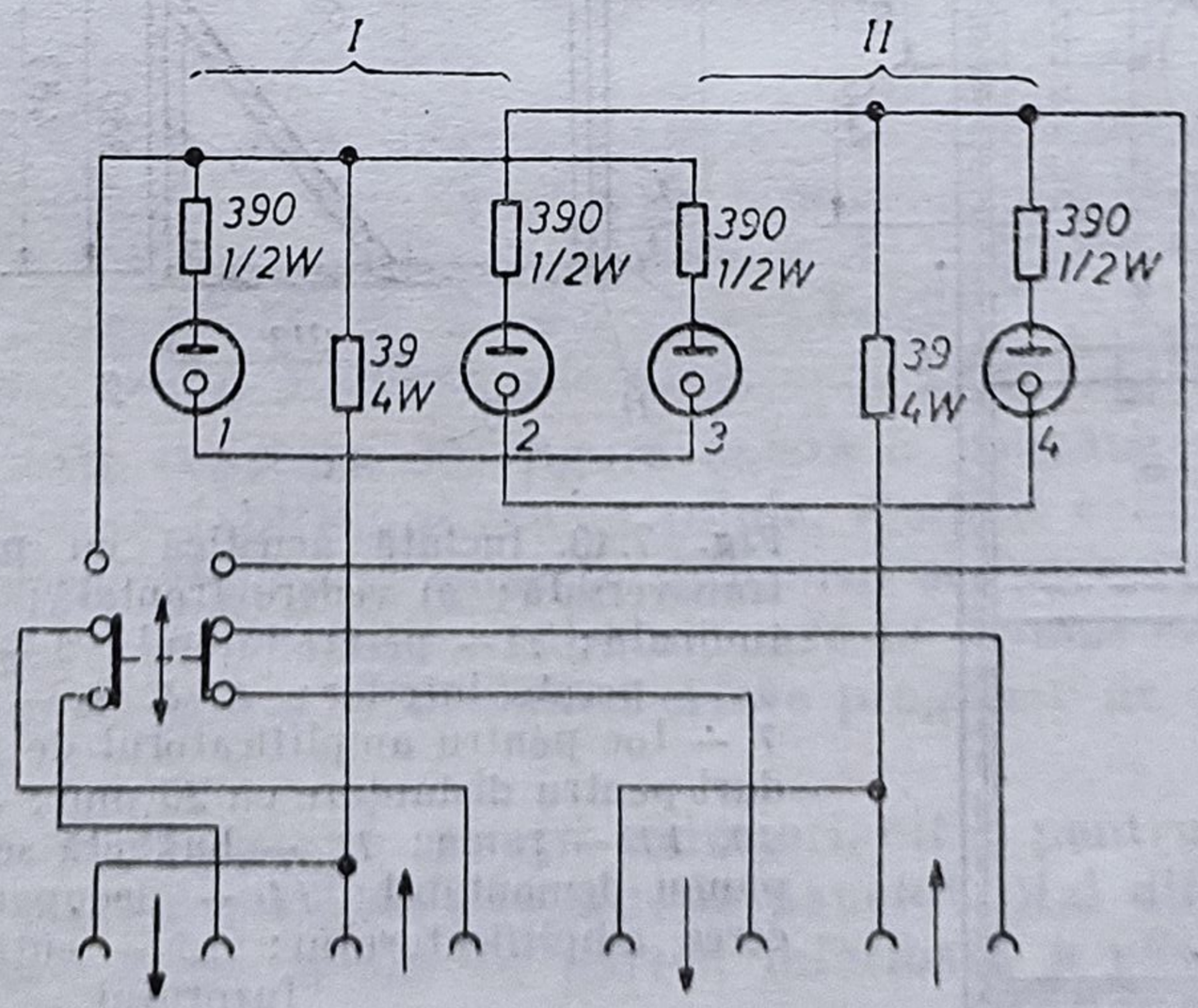


Fig. 7.44. Distribuitor pasiv pentru două perechi de căşti stereo cu impedanţă de 15 Ω.

Căștile utilizate pentru diferite scopuri se pot împărți după tipul constructiv în :

— căști dinamice cu membrană de celuloză ;
— căști dinamice cu membrană din mase plastice ;
— căști electrostatice ;
— căști cu cristale piezoelectrice ;
— căști dinamice cu membrană metalică ;
— căști dinamice telefonice.

În tehnica sunetului, pentru o redare de bandă largă sînt utilizate numai *căști dinamice cu membrană de celuloză* (*hîrtie*), restul tipurilor fiind utilizate în diferite domenii din telecomunicații.

De fapt, căștile dinamice cu membrană de celuloză sînt formate din două difuzoare dinamice de dimensiuni reduse, care sînt montate în mici incinte acustice corespunzătoare redării de bandă largă. Impedanța căștilor poate fi între 8 ÷ 150 Ω. Funcționarea căștilor dinamice cu membrană din celuloză este asemănătoare cu cea a difuzoarelor montate în incinte acustice.

Dacă cu ajutorul difuzoarelor, în scopul redării benzii de frecvențe audio, putem realiza sisteme multicăi, în cazul căștilor sarcina de a reproduce intreaga bandă revine unui *singur* difuzor, de dimensiuni reduse, și de aici provine și deosebirea de sonoritate.

Calitatea și suprafața membranei difuzoarelor influențează mărimea distorsiunilor neliniare. Natura distorsiunilor neliniare este dată de armonicile de ordinul doi (pare). În incintele acustice închise, masa de aer se comportă diferit la mișcarea înapoi (de presare), decît la mișcarea înainte a membranei difuzorului, aceasta fiind cauza distorsiunilor neliniare. Cu cît este mai mare amplitudinea mișcării membranei cu atît sînt mai mari distorsiunile. Intensitatea frecvențelor joase depinde de amplitudinea mișcării membranei. Prin urmare, la frecvențele joase, acțiunea distorsionată a masei aerului din incintă este mai mare.

Același fenomen se constată și în cazul căștilor acustice. Mai ales că diametrul membranei este mai mic, efectul masei de aer închis în spatele membranei micșorează considerabil redarea frecvențelor joase. Pentru ameliorarea redării frecvențelor joase se practică două metode.

Una din metode, constă în micșorarea la minim a masei de aer din fața membranei căștii, prin formarea între ureche și membrană a așa numitului „gol acustic“. Practic, aceasta se realizează prin aplicarea unei borduri inelare din material spongios (burete) care înconjoară marginea membranei, izolînd masa de aer dintre ureche și cască de mediul înconjurător. Inelul din material spongios este protejat cu o îmbrăcăminte din piele sintetică.

A doua metodă, eficientă în special la frecvențe sub 500 Hz, constă în practicarea în carcasa (cutia) din spatele membranei a unor deschizături. Existența acestor deschideri permite o mai ușoară vehiculare a aerului, atît la mișcarea înainte, cît la mișcarea înapoi a membranei. Aceste tipuri de căști se mai numesc și „căști respiratoare“. Unele firme realizează deschiderea din spatele membranei sub forma unei site cu orificii mărunte.

În general, căștile acustice de bună calitate au banda de redare de 40—20 000 Hz, cu o abatere de ±8 dB. În ciuda faptului că, din cauza dimensiunilor mici ale membranei, apar distorsiuni Doppler destul de mari, *utilizarea căștilor este preferabilă oricărui sistem de difuzoare*. Aceasta datorită faptului că în procesul audiției se exclude influența acustică nedorită a spațiului înconjurător care de multe ori este foarte nefavorabilă.

În cazurile în care căştile acustice se folosesc pentru controlul semnalului în diferite puncte ale unui lanţ fonic, se preferă căştile electrostatice sau cele cu cristale piezoelectrice, deoarece au impedanţă mare şi nu perturbă funcţionarea instalaţiei controlate prin introducerea unor atenuări suplimentare.

De asemenea, căştile electrostatice sau cu cristale piezoelectrice sînt recomandate în cazurile în care este necesară conectarea în paralel, pe aceeaşi ieşire a amplificatorului, fără a dispune de un distribuitor rezistiv.

Aceste tipuri de căşti electroacustice au o calitate mai scăzută, sînt foarte fragile la şocuri mecanice şi nu suportă nivele de tensiune peste limita normală, deoarece se deteriorează uşor.

Capitolul 8

Prelucrarea sunetului stereofonic

Prelucrarea semnalelor stereofonice furnizate de microfoane constituie partea cea mai importantă a procesul tehnologic de realizare a producţiilor stereofonice. Cele mai importante operaţii tehnice care se realizează în cadrul fazei de prelucrare a semnalelor stereofonice sînt : amplificarea, controlul şi corectarea parametrilor, transformarea, matricierea, dozarea, introducerea efectelor sonore şi reverberaţiei artificiale, distribuţia etc.

În funcţie de genul programului, care impune numărul microfoanelor folosite şi destinaţia producţiei realizate, rezultă gradul de complexitate a instalaţiilor folosite pentru prelucrarea semnalelor stereofonice.

În principiu aceste instalaţii trebuie să asigure următoarele funcţii:

— amplificare reglabilă pe fiecare canal de intrare, canal intermediar şi canal de ieşire ;

— posibilitatea conectării canalelor de intrare, intermediare şi de ieşire pentru a realiza producţii streofonice şi monofonice ;

— comutarea dispozitivelor de control obiectiv şi subiectiv mono-stereo ;

— dozarea şi echilibrarea semnalelor pe cele două canale stereo ;

— deplasarea imaginii sonore prin dispozive de panoramare (pseudostereofonie) ;

— transformarea semnalelor A şi B în semnale sumă (A + B) şi diferenţă (A — B) ;

— modificarea lăţimii bazei imaginii şi controlul vizual al acestei lăţimi pe fiecare canal stereo şi pe ieşire ;

— egalizarea nivelelor canalelor şi, uneori, măsurarea distorsiunilor de fază între semnalele A şi B, cu posibilitatea de compensare a defazării ;

— introducerea unor reverberaţii şi efecte sonore dorite în canalul stereofonic ;

— manipularea semnalelor după necesităţi ;

— asigurarea diafoniei minime între canale ;

— asigurarea distribuţiei semnalului stereofonic şi monofonic la beneficiarii producţiilor stereofonice (înregistrare, transmisie, ascultare etc.).

8.1. ELEMENTE DE PRELUCRARE A SUNETULUI SPECIFICE INSTALAŢIILOR ELECTROACUSTICE STEREOFONICE

O instalaţie stereofonică pentru prelucrarea semnalelor cuprinde elemente asemănătoare cu cele proprii instalaţiilor monofonice. Spre deosebire de acestea, la o instalaţie electroacustică stereofonică, pe lîngă aşa numitul

reglaj de intensitate, intervine și *reglajul de direcție*. Reglajul de direcție prezintă o importanță deosebită, deoarece permite corijarea anumitor deficiențe de captare și influențează în mod considerabil imaginea spațială de la redare, dîndu-i o anumită independență față de aranjamentul real al orchestrei și al microfoanelor.

În cazul unui reglaj de direcție, este necesar să se ia în considerare doi factori, și anume : *direcția* din care trebuie să se audă grupurile orchestrale și *lărgimea bazei de înregistrare*.

Așadar, reglajul de direcție va fi realizat numai dacă va exista pentru fiecare microfon un element de reglare a bazei și un altul pentru reglarea direcției. Pentru reglarea lărgimii bazei de înregistrare, se consideră, de exemplu, un sistem de microfoane cu caracteristici de directivitate în formă de sferă-opt, ca acelea indicate în fig. 4.6, în care caracteristica în formă de sferă reprezintă informația de mijloc M, iar cea în formă de opt, informația de situație laterală S.

Dacă se acționează asupra canalului electroacustic corespunzător informației laterale S, respectiv dacă se mărește sau se micșorează amplificarea acestui canal, se va mări sau micșora lărgimea bazei. Reducerea completă a semnalului S va însemna reducerea imaginii sonore la un punct situat în mijlocul bazei.

Pentru reglarea direcției, se consideră de asemenea microfonul stereofonic de mai sus ; se observă că la —90° cele două semnale M și S au aceeași amplitudine și fază, pe cînd la +90° amplitudinile sînt egale, iar fazele opuse. Prin urmare, energia sonoră dată de o sursă care se deplasează în jurul microfonului la o anumită distanță va fi captată de cele două capsule microfonice cu amplitudinile și fazele corespunzătoare acestor caracteristici. La redare, sursa de sunet fictivă va respecta sensul deplasării, urmărind întocmai pe cea de la înregistrare. Se poate arăta că suprimarea tensiunii produse de componenta S a microfonului și introducerea în locul acesteia a unei tensiuni cu caracteristici similare, luată în paralel de la canalul M, ar putea reproduce în mod artificial mișcarea sursei reale. Pentru aceasta este necesar ca tensiunea luată de la canalul M să fie trecută printr-un element de reglaj, cu variație continuă și cu caracteristică de directivitate asemănătoare cu componenta S. În fig. 8.1 este reprezentată o astfel de schemă. Se observă că la canalul M, după atenuator, s-a conectat în paralel elementul de reglare la direcției *R*, care permite deplasarea sursei sonore fictive. Acest element de reglaj corespunde funcțiunii indicate mai sus și este compus din două rezistențe care variază în sens invers. Cele două rezistențe variabile, așa cum este indicat în fig. 8.2, formează o punte, tensiunea luată de la canalul M aplicîndu-se pe diagonala verticală. În poziția de mijloc a celor două cursoare se produce o echilibrare a circuitului obținîndu-se pe diagonala orizontală o tensiune electrică nulă. În pozițiile extreme, la bornele *S* se găsește întreaga tensiune M, însă cu faze opuse. Acest principiu se aplică și în cazul microfoanelor stereofonice cînd se caută deplasarea centrului imaginii sonore într-o parte sau în alta. Astfel, în fig. 8.3 se observă că tensiunea culeasă din canalul M se introduce în canalul S. În figură este arătată și posibilitatea de variație a bazei prin alt element de reglaj, notat cu *B*, care acționează asupra componentei S a microfonului stereofonic. Schema mai detaliată a celor două elemente de reglaj, pentru direcție și pentru bază, este reprezentată în fig. 8.4.

În poziția de mijloc a cursorului, ca și în cazul reprezentat în fig. 8.2, nu se obține nici un semnal din canalul M. În pozițiile extreme tensiunea elec-

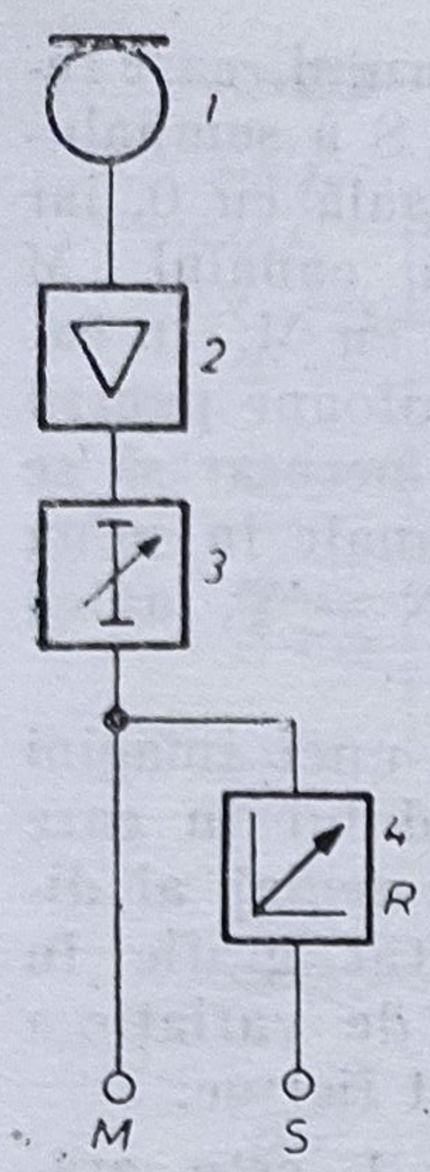


Fig. 8.1. Schema de principiu a reglajului de direcție: *1* — microfon; *2* — amplificator; *3* — atenuator; *4* — element pentru reglajul direcției.

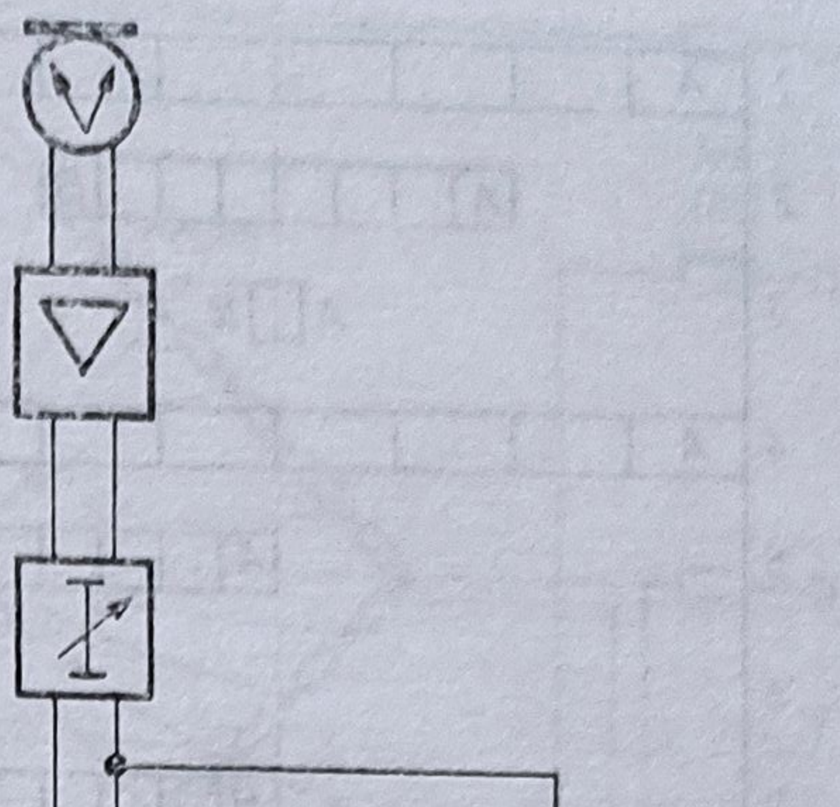


Fig. 8.2. Schema de principiu a elementului de reglaj al direcției, R, conectat la lanțul electroacustic,

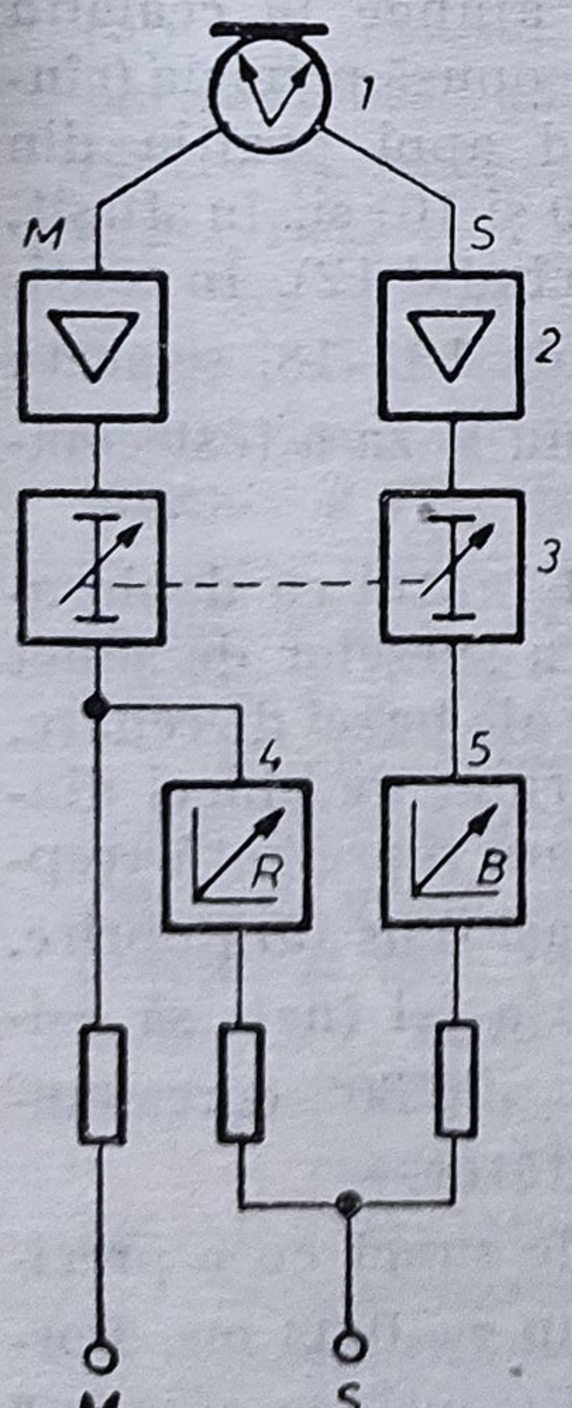
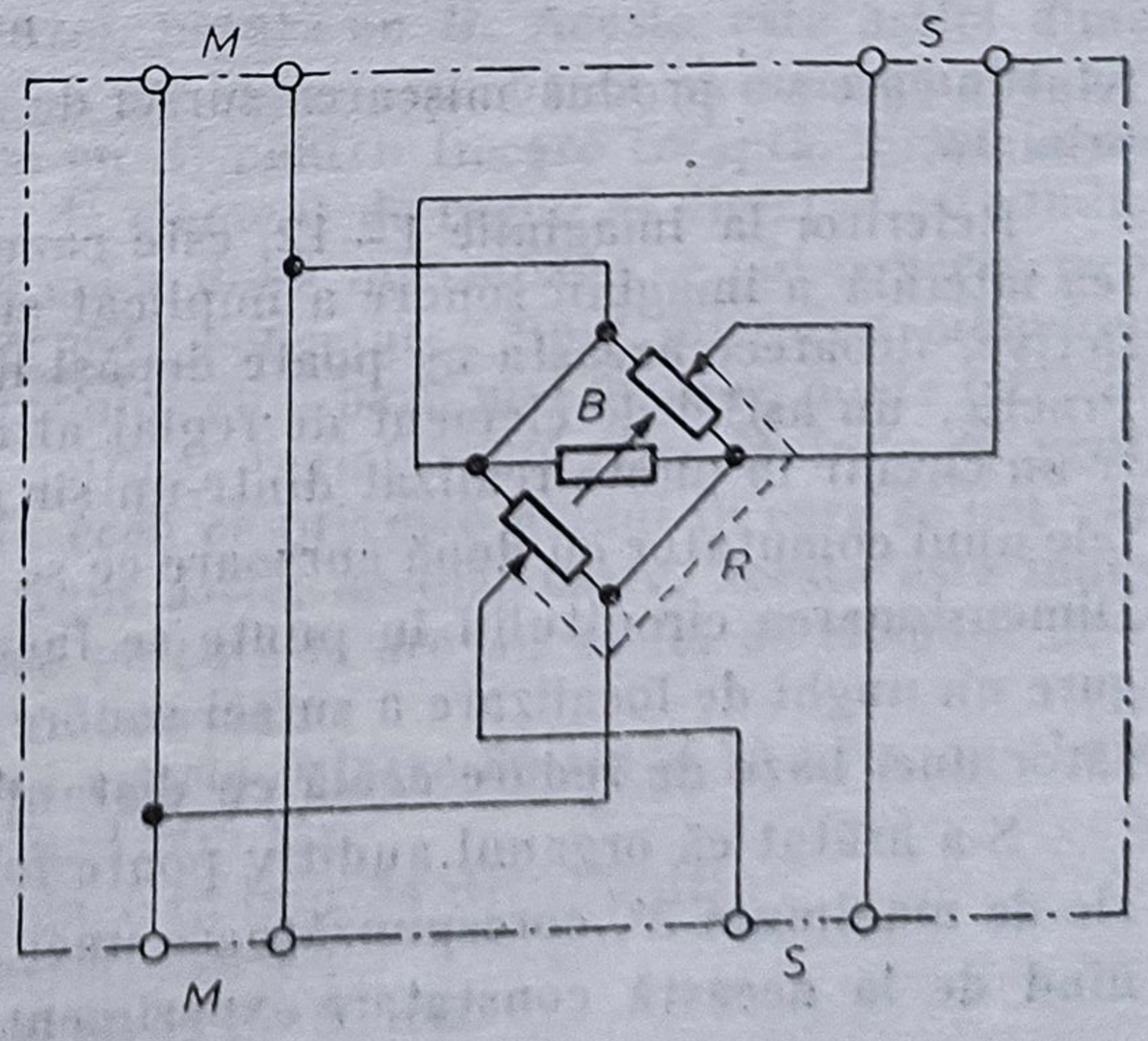


Fig. 8.3. Reglajul direcției și al bazei într-un lanț electroacustic stereofonic: *1* — microfon stereofonic; *2* — amplificatoare; *3* — atenuatoare; *4* — element pentru regaujul dirceției; *5* — element reglajul bazei.

Fig. 8.4. Circuit pentru reglajul direcției și al bazei.



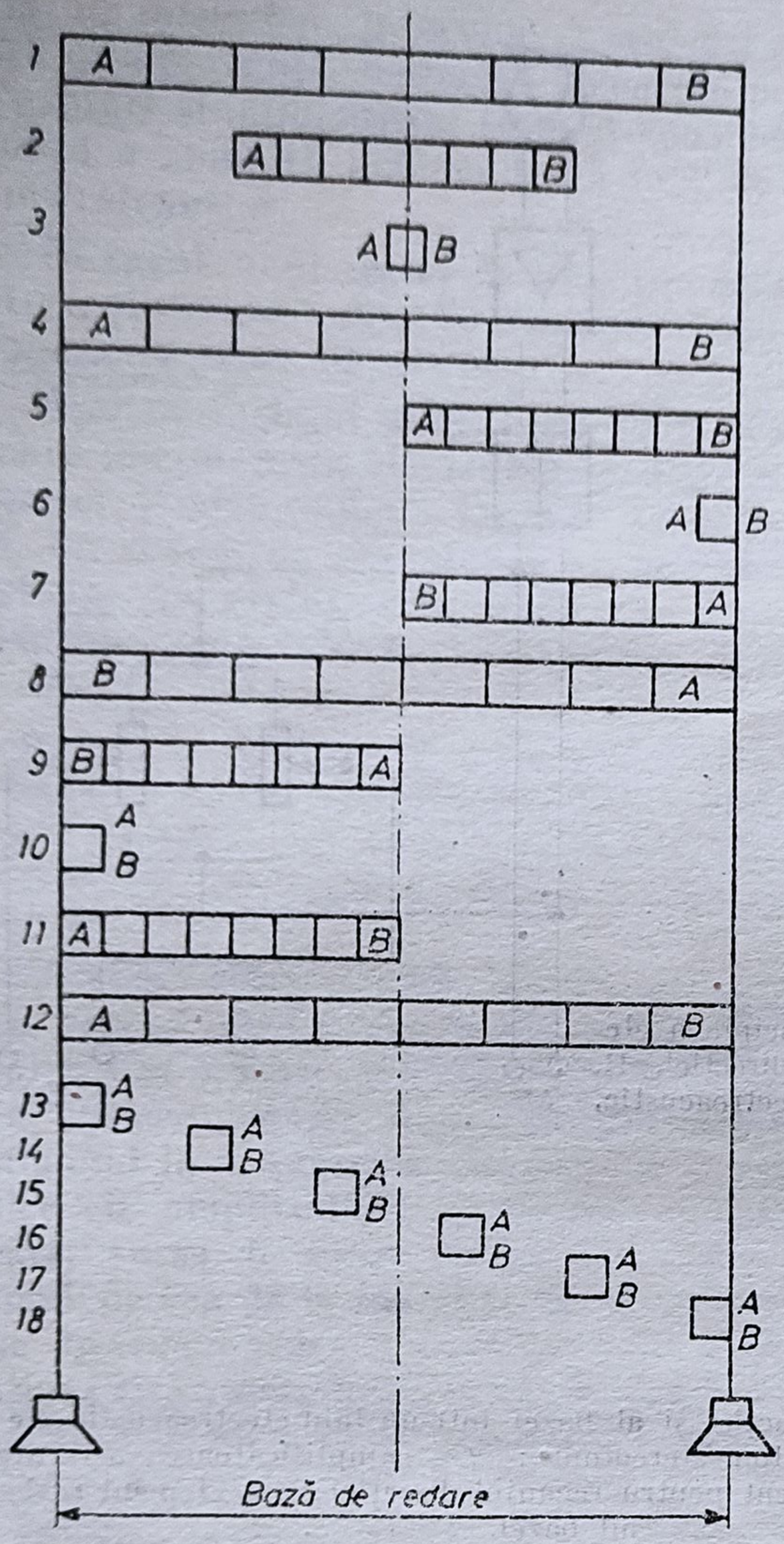


Fig. 8.5. Modificarea poziției imaginii și a lărgimii bazei cu ajutorul elementelor de reglaj.

trică la bornele cursorului, care reprezintă componenta S a semnalului stereofonic, este egală cu 0, iar tensiunea luată din canalul M este maximă și egală cu M. În cazul folosirii unor microfoane pentru procedeele XY, este necesar să se transforme aceste semnale în suma X + Y și diferența X — Y, adică în M și S.

Pentru obținerea unei imagini cît mai clare a modului în care lucrează elementul de reglaj al direcției, s-au reprezentat grafic în fig. 8.5 posibilitățile de variație a poziției sursei de sunet fictive.

Astfel, în rîndul 1 este arătată imaginea sonoră originală desfășurată pe întreaga întindere a bazei. Rîndurile 2 și 3 redau modul de comprimare a imaginii sonore prin acționarea elementului *B* de reglaj al bazei. În rîndurile 4—12 se observă acțiunea elementului de reglaj al direcției, cînd se pornește din poziția de mijloc a cursorului. Prin rotirea continuă a cursorului cu 360°, se trece printr-o poziție laterală spre dreapta a imaginii sonore (rîndurile 5—6 cursorul dreapta), se ajunge în cealaltă poziție, de mijloc opusă primeia (rîndul 8), urmărind apoi poziția din stînga(rîndurile 9 și 10) și, în sfîrșit, poziția inițială (rîndul 12). În continuare, în rîndurile 13—18, se arată felul în care s-a produs mișcarea sursei de sunet fictive cînd baza a fost comprimată.

Referitor la imaginile 1—12, este cazul să fie amintit faptul că deplasarea laterală a imaginii sonore a implicat și o comprimare a surselor de sunet fictive, deoarece aceasta nu poate depăși limitele extreme ale bazei de redare. Practic, un astfel de element de reglaj al direcției este format de obicei dintr-un circuit în punte realizat dintr-un șir de rezistențe, care reprezintă treptele unui comutator cu două cursoare ce se pot roti în același sens fără oprire. Dimensionarea circuitului în punte se face de obicei în așa fel încît să asigure un unghi de localizare a sursei sonore fictive egal cu ±26°30′, corespunzător unei baze de redare egală cu distanța pînă la ascultător.

S-a arătat că organul auditiv poate localiza o sursă de sunet cu o precizie de maximum 3°, corespunzătoare unei diferențe de timp $\tau = 0{,}03$ ms. Pornind de la această constatare experimentală se poate dimensiona numărul

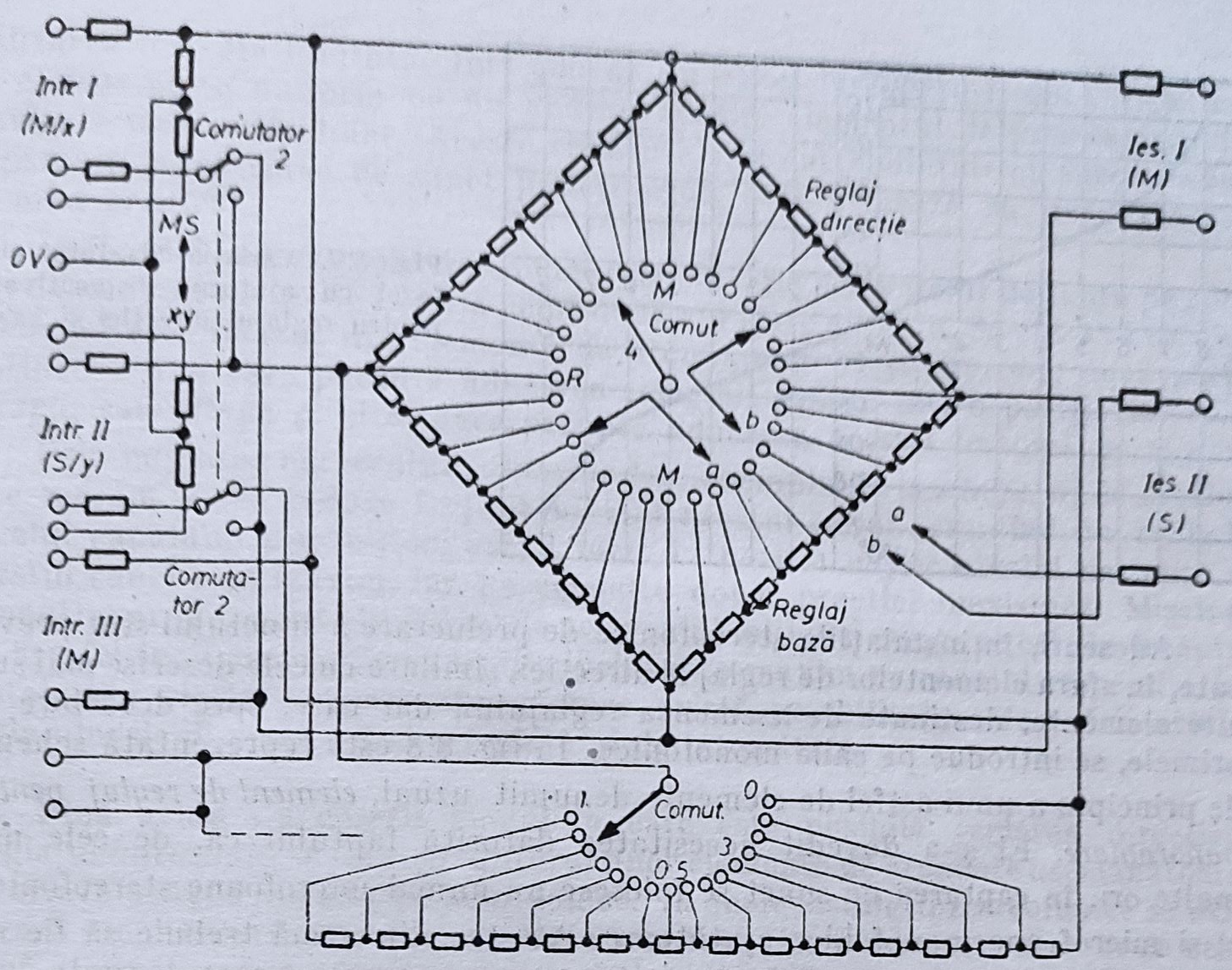


Fig. 8.6. Schema de detaliu a unui dispozitiv pentru reglajul direcției și al bazei.

de trepte ale comutatorului. Din $\frac{26°30'}{3°}$ rezultă un număr de aproximativ 8 trepte. Modul acesta de dimensionare prezintă o serie de avantaje, deoarece unghiul de ascultare, respectiv baza, pot fi dirijate din punctul de vedere al captării surselor sonore în rapoartele 1/2, 1/4, 1/8, în așa fel pot fi reglate porțiuni mici ale bazei, cu elementele de reglaj al direcției independente, fără a permite apariția unor goluri sau a unor suprapuneri a surselor de sunet fictive.

S-a arătat mai sus că la diagonala orizontală a punții se conectează elementul de reglaj al lărgimii bazei, notată cu *B*. Acesta este astfel dimensionat încît să se respecte condiția ca îngustarea bazei să corespundă cu o mișcare a unghiului de ascultare cu 3° pentru fiecare treaptă. Felul în care se poate realiza practic un astfel de element de reglaj al direcției este indicat în fig. 8.6. Se observă că ieșirile celor două microfoane se pot conecta pe intrările *I* și *II*. Intrarea *III* permite conectarea unui microfon monofonic.

În cazul unor captări stereofonice cu o bază mai mare se poate introduce acest microfon suplimentar de mijloc, reglajul direcției făcîndu-se pentru întreaga grupă de microfoane. În ceea ce privește modul în care se pot varia nivelul și faza prin intermediul unui astfel de dispozitiv, acesta este indicat în fig. 8.7. Caracteristicile tehnice pe care le are un astfel de element de reglaj al direcției sînt de obicei următoarele :

— caracteristica de frecvență cuprinsă între 30 Hz și 15 kHz, cu abateri de $\pm$0,5 dB față de valoarea de la 1 000 Hz.

— atenuarea pe care o introduce în lanț 34 dB $\pm$2 dB ;

— tensiunea maximă de intrare 10 V ;

— atenuarea de diafonie mai bună de 50 dB.

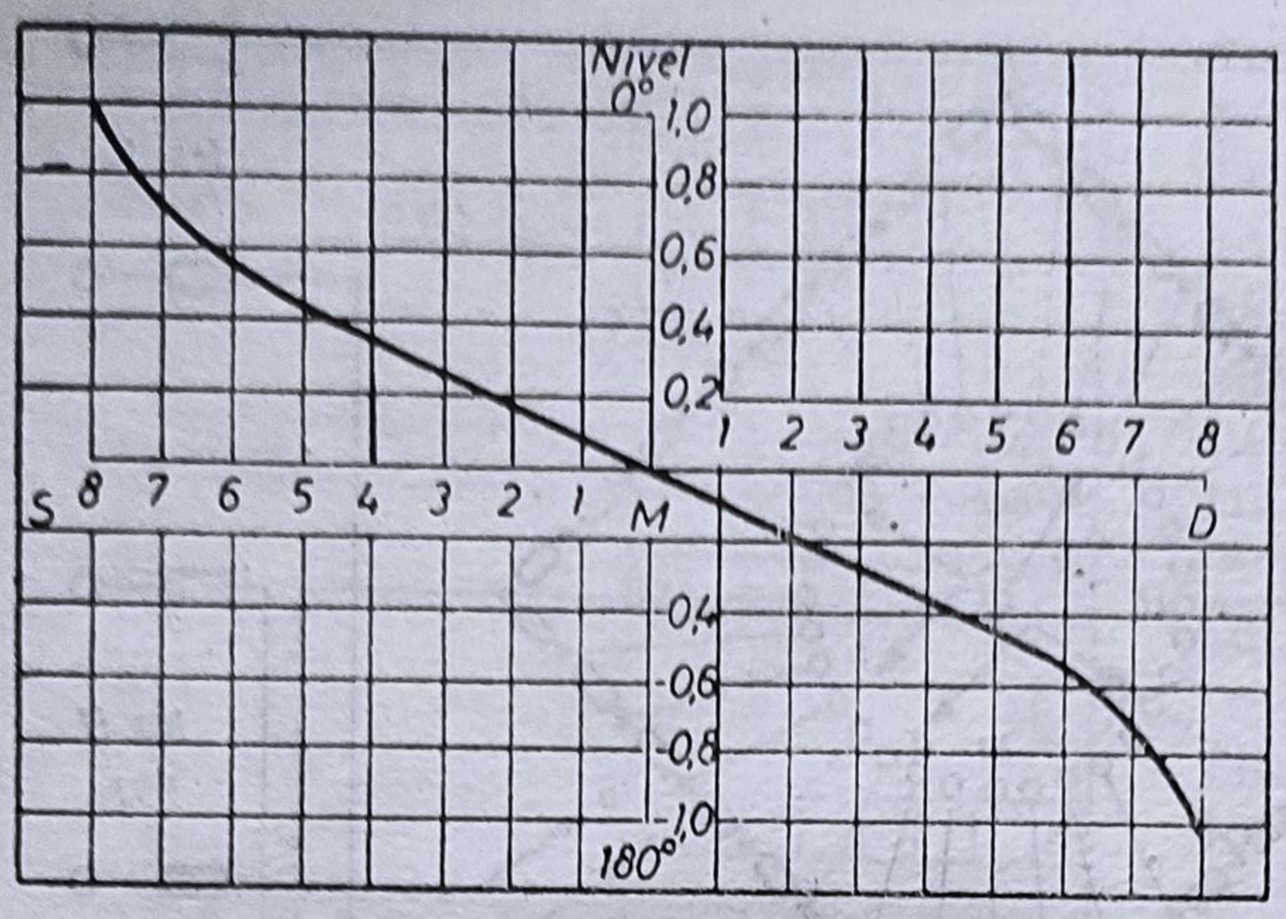


Fig. 8.7. Variația nivelului și a fazei cu ajutorul dispozitivului pentru reglajul direcției și bazei.

Adeseori, în instalațiile stereofonice de prelucrare a sunetului sînt prevăzute, în afara elementelor de reglaj al direcției, similare cu cele descrise mai sus, alte elemente, destinate de asemenea reglajului, dar care, spre deosebire de primele, se introduc pe căile monofonice. În fig. 8.8 este reprezentată schema de principiu a unui astfel de element, denumit uzual, *element de reglaj pentru panoramare*. El și-a dovedit necesitatea datorită faptului că, de cele mai multe ori, în captarea de sunet se folosesc nu numai microfoane stereofonice, ci și microfoane monofonice ajutătoare. Acestea din urmă trebuie să fie reglate, din punctul de vedere al direcției, odată cu cele stereofonice. Dar acesta nu este singurul motiv care a determinat introducerea lor în instalațiile pentru prelucrarea stereofonică a sunetului. În tehnica prelucrării stereofonice, pe trei canale, se obișnuiește uneori să se înregistreze fiecare canal separat, obținîndu-se la redare o imagine sonoră cît mai apropiată de realitate. În aceste cazuri, și în special pentru surse punctiforme, elementele de panoramare își dovedesc eficacitatea. Cum ele sînt totuși mijloace pseudostereofonice,

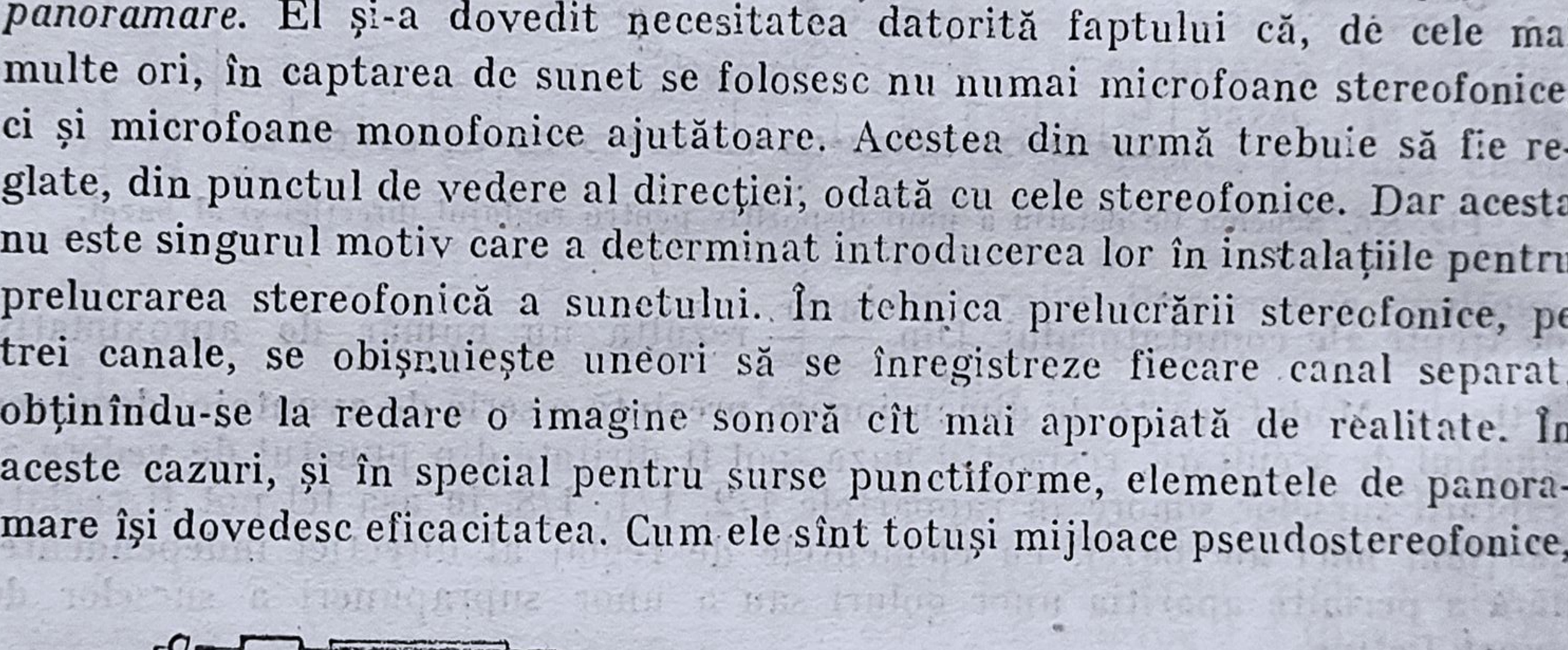


Fig. 8.8. Dispozitiv pentru panoramarea sunetului și modul de variație a nivelului de ieșire.

utilizarea lor este limitată. Într-adevăr, în cazul înregistrării unor surse sonore distribuite uniform pe un anumit spațiu, elementul de panoramare dă rezultate mai puțin bune. Aceste elemente sînt întrebuințate cu succes la înregistarea unor surse de sunet punctiforme, care urmează să fie deplasate în mod artifical.

În fig. 8.8 se poate observa modul de variație a nivelului de ieșire pe cele trei canale în funcție de poziția celor două cursoare cuplate. Se observă că dispozitivul este format din elemente de atenuare în H și cuprinde două părți distincte : una care permite aducerea imaginii sonore într-o poziție laterală *dreapta* sau *stînga* și alta, care permite aducerea acestei imagini la *mijloc*.

Prin mișcarea cursorului — pornind de exemplu de la *stînga*, unde nivelul este maxim — se reduce treptat nivelul acestui canal, crescînd în schimb nivelul canalului din mijloc, astfel încît în poziția *mijloc* nivelul de ieșire a acestui canal este maxim, iar pe celelalte două, practic, inexistent. Mișcînd în continuare cursorul nivelul scade pe canalul mijloc și crește pe cel din dreapta în așa fel încît în poziția *dreapta* nivelul este maxim pe canalul respectiv. În instalațiile electroacustice stereofonice există posibilitatea efectuării atît a reglajului de direcție, cît și a reglajului de intensitate.

Pînă acum s-a descris modul în care este posibilă reglarea direcției. Reglajul *intensității* se face cu ajutorul unor elemente de atenuare asemănătoare cu cele folosite în instalațiile monofonice. În unele instalații stereofonice se utilizează atenuatoare obișnuite, cuplate mecanic cîte două. Este necesar ca cele două atenuatoare să prezinte caracteristici asemănătoare ale atenuării în funcție de poziția cursorului, pentru a nu apărea diferențe de nivel care ar conduce la erori în localizarea surselor de sunet fictive. În alte instalații stereofonice sînt folosite atenuatoare de construcție specială care fac posibilă reglarea simultană și continuă a nivelului cu ajutorul unui singur cursor. Fiecare dintre cele două sisteme de atenuatoare prezintă avantaje și dezavantaje. Astfel, sistemul de atenuatoare cuplate mecanic oferă posibilitatea transformării canalelor stereofonice într-un număr dublu de canale monofonice. Celălalt sistem, cu atenuatoare de construcție specială, prezintă unele avantaje în exploatarea și întreținerea instalațiilor, însă nu permite — în cazul unor înregistrări monofonice — mărirea capacității instalației. Din punct de vedere constructiv, atenuatoarele folosite la instalațiile sterefonice pot fi cu rezistențe sau cu piste de cărbune. În ambele cazuri trebuie să se asigure o atenuare identică pe ambele canale și să aibă următoarele caracteristici tehnice. Atenuarea introdusă în poziția zero pe fiecare din cele două canale să fie mai mică sau cel mult egală cu 0,5 dB. Toleranța în intervalul de atenuare 0—10 dB este de ± 1 dB, între 10 și 30 dB de ± 2 dB și între 30 și 90 dB de ± 5 dB, în banda de frecvență 20—15 000 Hz și pentru o rezistență de sarcină de 500 Ω.

În poziția închis, în banda 20 și 15 000 Hz, atenuarea trebuie să fie mai mare sau egală cu 100 dB.

Un alt element din lanțul electroacustic specific instalațiilor stereofonice este transformatorul pentru *însumarea* și *scăderea* semnalelor stereofonice. Acest transformator are înfășurările secundare conectate astfel încît să permită însumarea și diferențierea tensiunilor aplicate la intrare fig. 8.9.

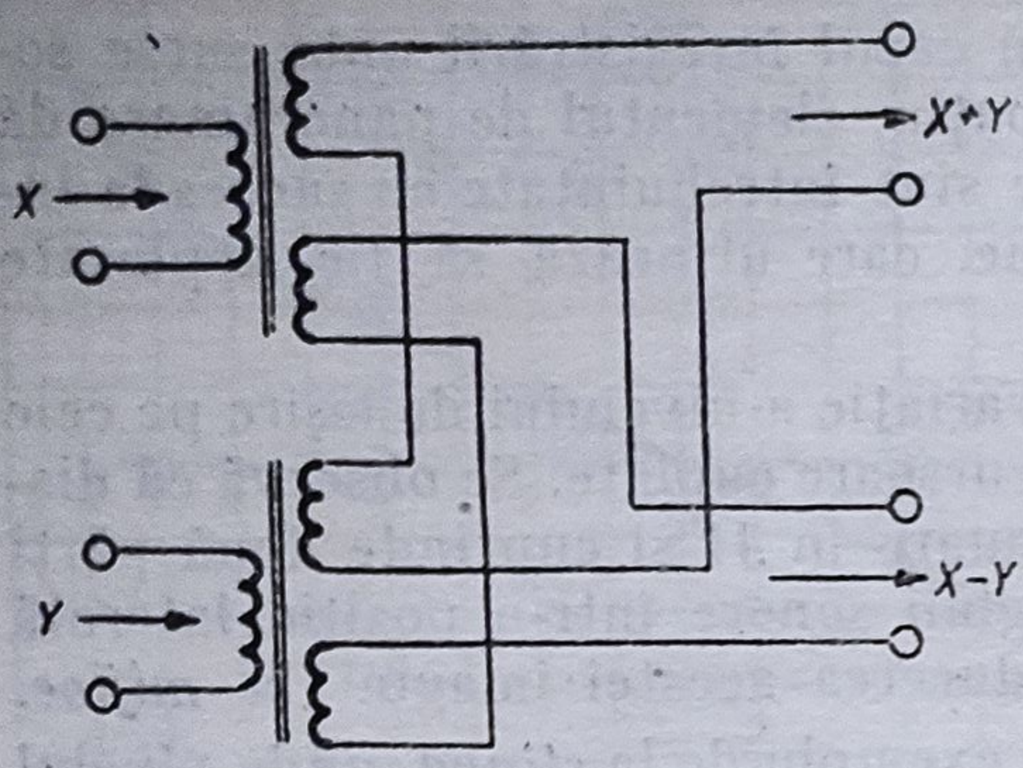


Fig. 8.9

În felul acesta, dacă la intrare se aplică, de exemplu, semnalele X și Y, se vor obține la ieșire semnalele sumă X + + Y și diferență X − Y, respectiv M și S.

Foarte important pentru controlul fazării corecte a semnalelor stereofonice este dispozitivul pentru *controlul vizual* al imaginii sonore.

Aceasta se compune dintr-un osciloscop catodic la care se aplică, pe plăcile de deflexie verticală, semnalul M = = X + Y și pe cele pentru deflexia pe orizontală semnalul S = X — Y, obținîndu-se o figură Lissajoux complexă și variabilă în timp fig. 8.10. O imagine prea concentrată va apărea prin fluctuații verticale concentrate într-o zonă îngustă centrală a ecranului tubului catodic, iar o imagine prea lată se va așterne dintr-o parte în cealaltă a ecranului osciloscopului.

Pentru ca echilibrul semnalelor pe cele două canale să fie bun, imaginea trebuie să se desfășoare într-o zonă centrală a ecranului, mărginită de un cerc.

Avînd în vedere că dispozitivul de control vizual al imaginii sonore se conectează la ieșirea dispozitivului de lărgire a imaginii, de cele mai multe ori constituie un bloc comun cu acesta.

Dintre elementele folosite pentru producerea de *efecte sonore* se vor prezenta pe scurt instalațiile pentru reverberarea sunetului.

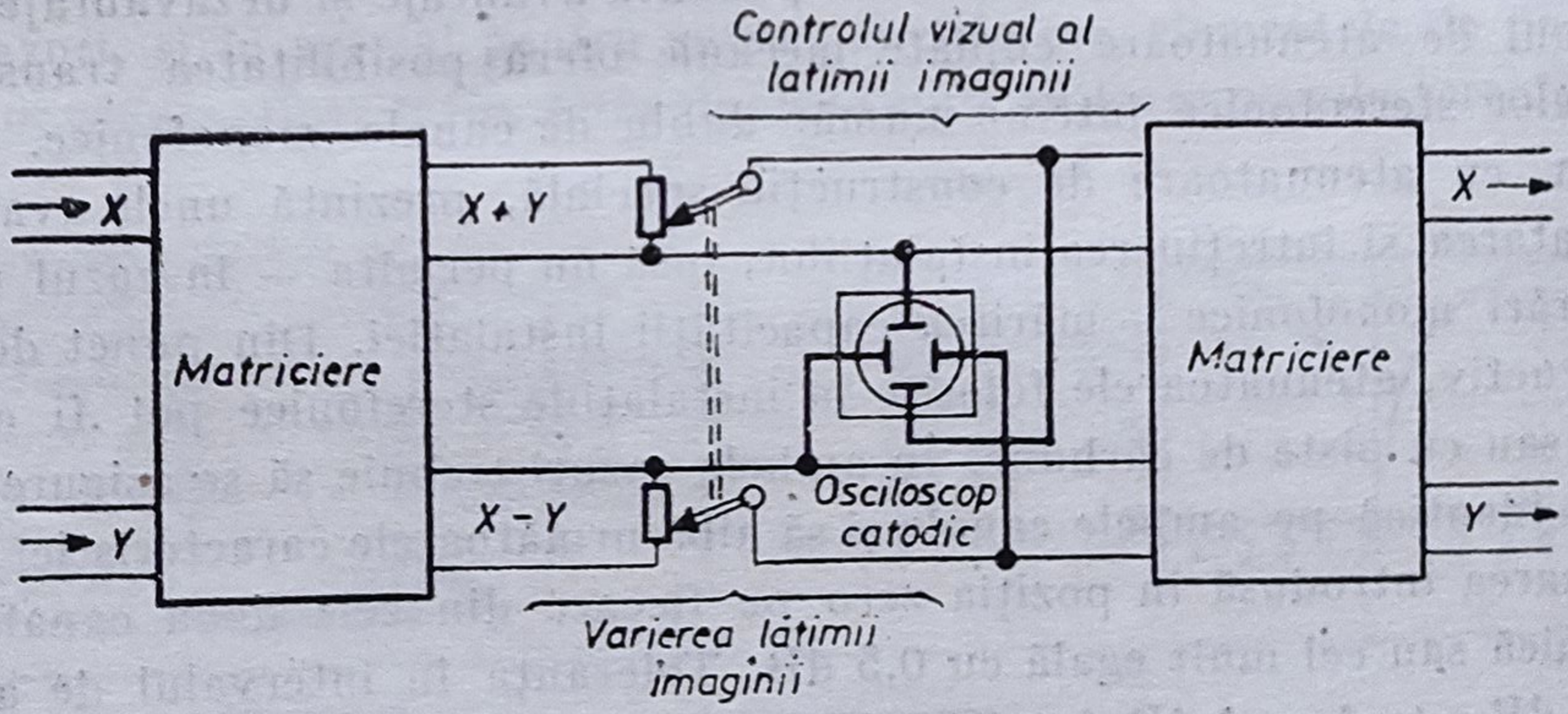


Fig. 8.10. Dispozitiv de control vizual al lățimii imaginii.

8.2. ELEMENTE PENTRU REALIZAREA EFECTELOR SONORE

Procedeul cu cameră de reverberație

În general, durata de reverberație în captările stereofonice trebuie să fie cu 10% mai mică decît în captările monofonice. Reverberația artificială în captările stereofonice are o funcție mai importantă decît în captarea mo-

nofonică deoarece, printr-o reglare corespunzătoare, imaginea sonoră se poate situa într-un plan diferit, în timp și spațiu, față de scena principală.

Ca rezultat, se vor obține efecte foarte interesante. În principiu, instalația necesită folosirea a două microfoane și a două difuzoare în camera de reverberație și permite următoarele :

— reinjectarea pe canalele A, respectiv B, a semnalului reverberat, produs de canalele A și B ;

— reinjectarea diferențiată, pe canalele A și B, a semnalului reverberat produs de semnalul sumă M ;

— reinjectarea simultană și egal repartizată pe canalele A și B a semnalului reverberat produs de semnalul sumă M (uneori, pentru efecte speciale, se poate reinjecta și semnalul diferență).

Schema de principiu a instalației trebuie să conțină comutatoarele necesare pentru asigurarea acestor operații, atît la intrarea cît și la ieșirea din camera de reverberație.

Se menționează însă că în majoritatea instalațiilor electroacustice stereofonice se prevede un singur difuzor în camera de reverberație, care poate primi semnal de pe canalul A sau B sau pe ambele printr-un comutator.

În fig. 8.11 se arată schema unei astfel de instalații. Atenuatoarele de reglare a nivelului semnalului direct și a celui reverberat nu sînt figurate în această schemă.

Pentru reverberarea semnalelor stereofonice nu este recomandabilă folosirea independentă a cîte unei camere de reverberație pentru fiecare canal, deoarece în acest caz apar două surse de reverberație în scena sonoră, în extrema dreaptă și cea stîngă, reverberația nefiind distribuită uniform pe întreaga scenă. În privința tipului de microfon, se recomandă utilizarea microfonului stereofonic XY în coincidență, pentru a se obține un semnal reverberat distribuit uniform între cele două canale. În cazul în care se folosesc două microfoane cu caracteristică cardioidă, semnalul reverberant este prea concentrat.

În instalațiile moderne se folosesc rar aceste camere, deoarece pe de o parte construcția lor este destul de costisitoare, iar pe de altă parte, odată construite, nu permit modificarea duratei de reverberație decît prin executarea unor schimbări constructive, care sînt foarte greoaie și necesită cheltuieli mari.

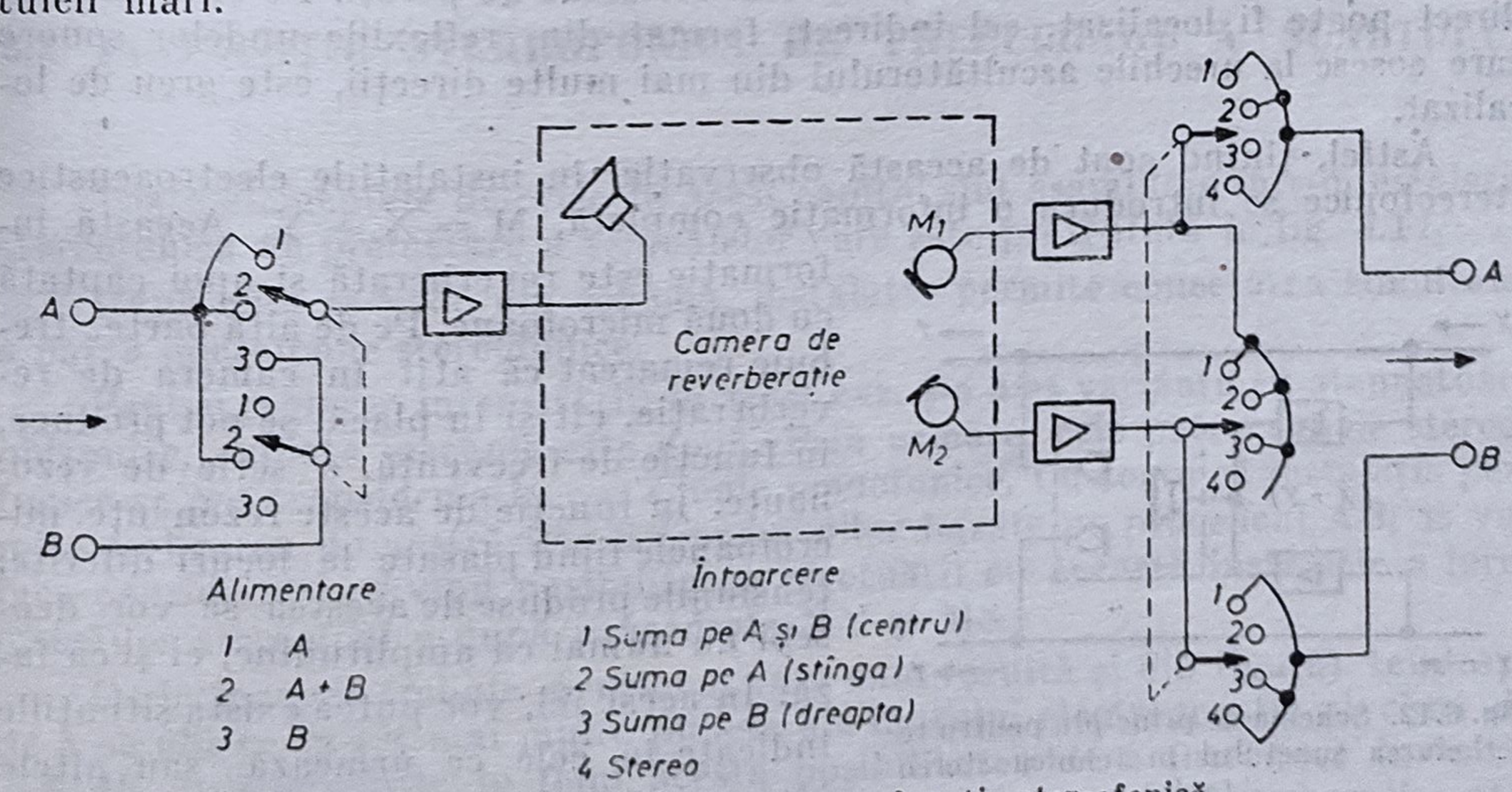


Fig. 8.11. Dispozitivul de reverberație stereofonică.

Dacă nu se fac aceste modificări, reglajul se poate obține numai prin varierea raportului dintre sunetul reverberat și cel direct.

În plus, prin acest procedeu, sunetul reverberat poate fi deformat ca urmare a proprietăților acustice ale camerei de reverberație în funcție de frecvență, frecvențele proprii ale încăperii etc.

Procedeul cu placă de reverberație

În principiu acest procedeu se bazează pe excitarea, cu ajutorul unui sistem asemănător cu cel al unui difuzor, a unei plăci din oțel special cu suprafața de 2 m^2 și grosimea de 0,5 mm. Oscilațiile plăcii sînt captate prin intermediul al două transductoare piezoelectrice. Prin reglarea gradului de amortizare al acestei plăci, respectiv prin mărirea sau micșorarea timpului de amortizare a oscilațiilor plăcii, se reglează durata de reverberație obținută artificial. Acest lucru este obținut cu ajutorul unei pături din material absorbant, poros, care se poate apropia sau depărta de suprafața tablei de oțel (printr-un dispozitiv special, telecomandat din regia de sunet).

În tehnologia prelucrării semnalelor stereo se folosesc toate metodele și procedeele expuse mai sus. Problema reverberației artificale în instalațiile electroacustice stereofonice este dintre cele mai complicate, deoarece instalațiile de reverberație pot fi conectate pe fiecare canal în parte. Un asemenea procedeu presupune, pe de o parte, folosirea unui aparataj complex și, pe de altă parte, imaginea sonoră astfel obținută nu corespunde întocmai senzației auditive dintr-o încăpere reverberantă. Uneori se folosește un microfon monofonic ; informația sonoră, captată de acesta este reverberată și apoi amestecată cu sunetul direct redat de cele două canale stereofonice. Acest procedeu, deși crează o impresie auditivă mai plăcută, totuși afectează imaginea sonoră.

În ultimul timp s-a utilizat, cu rezultate destul de bune, reverberarea semnalului sumă M prin intermediul camerei de ecou sau a plăcii de reverberație, captarea sunetului reverberat făcîndu-se cu ajutorul a două microfoane (fig. 8.12). S-a ajuns la această soluție pe baza următoarelor constatări : dacă există într-o încăpere o sursă de sunet și un ascultător, acesta din urmă va percepe atît sunetul direct, cît și sunetul reflectat de pereți. Pe cînd sunetul direct poate fi localizat, cel indirect, format din reflexiile undelor sonore care sosesc la urechile ascultătorului din mai multe direcții, este greu de localizat.

Astfel, ținînd cont de această observație, în instalațiile electroacustice stereofonice se introduce o informație completă, $M = X + Y$. Această informație este reverberată și apoi captată cu două microfoane. Pe de altă parte, trebuie remarcat că atît în camera de reverberație, cît și în placă, se pot produce, în funcție de frecvență, o serie de rezonanțe. În funcție de aceste rezonanțe, microfoanele fiind plasate la locuri diferite, tensiunile produse de acestea se vor deosebi nu numai ca amplitudine, ci și ca fază. În acest fel, vor putea exista situațiile indicate în cele ce urmează, sau altele intermediare ;

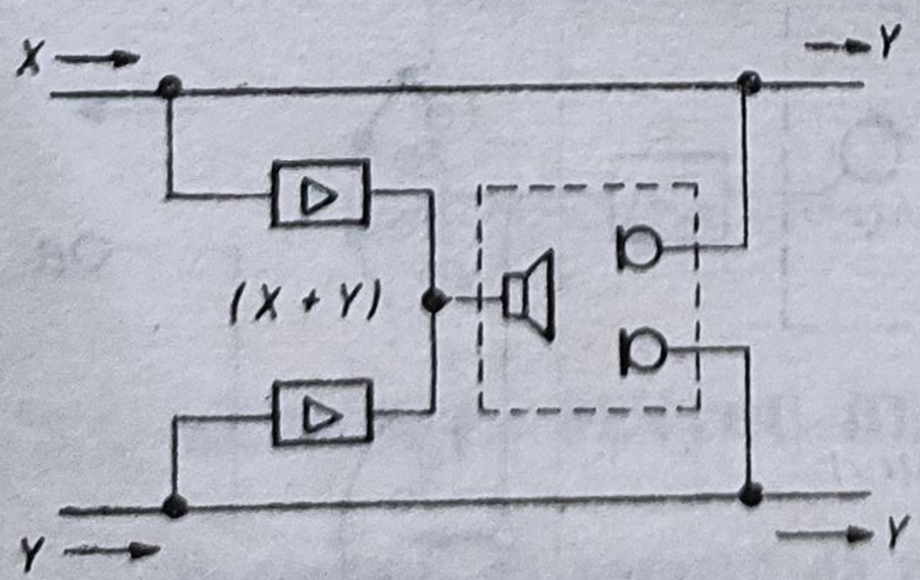


Fig. 8.12. Schema de principiu pentru reverberarea sunetului în tehnica stereofonică.

Conform celor arătate anterior, în cazul 1 se crează impresia că frontul undei sonore sosește din dreapta, în cazul 2, din stînga, în cazul 3, din centru și în cazul 4, din părțile laterale. Pe lîngă aceste patru situații arătate mai sus vor exista o infinitate de situații intermediare (în funcție de frecvență) și se va crea, deci, senzația sosirii sunetului din foarte multe părți, adică se va reproduce situația dintr-o cameră reverberantă.

Microfon	Faza tensiunilor			
I	90°	0°	90°	90°
II	0°	90°	90°	−90°
	Cazul 1	2	3	4

Cele două semnale astfel reverberate, sînt captate și apoi amestecate cu semnalele directe A, respectiv B.

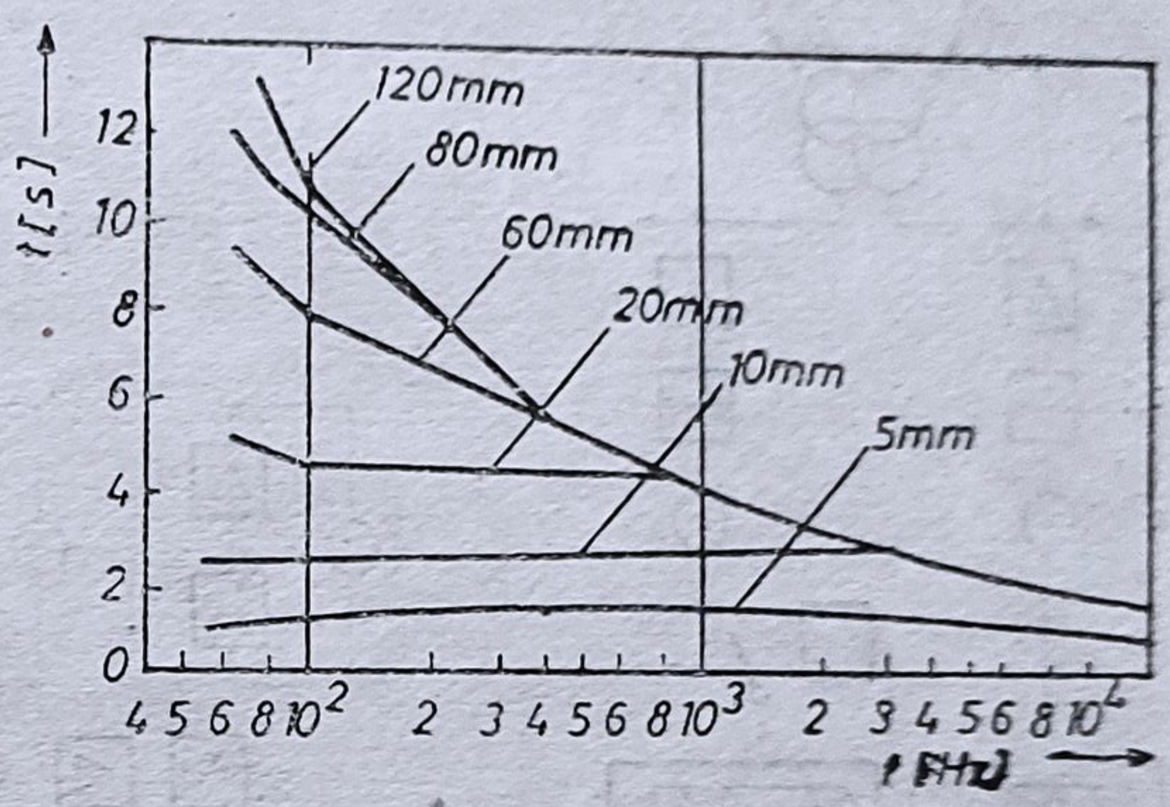


Fig. 8.13. Variația cu frecvența a duratei de reverberație la o placă, pentru diferite distanțe ale plăcii amortizoare față de placa de oțel.

Caracteristicile tehnice ale unei plăci de reverberație: durata de reverberație la frecvența de 500 Hz este de 1 pînă la 4 s ; caracteristicile de frecvență sînt indicate în fig. 8.13 ; tensiunea de intrare este 1,55 V ; impedanța de intrare 5 kΩ (intrare simetrică) ; tensiunea de ieșire la 400 Hz este de 1,55 V ; raporul semnal-zgomot, mai mare de 60 dB.

8.3. INSTALAȚIE STEREOFONICĂ DE PRELUCRARE A SUNETULUI

Toate elementele descrise în acest capitol sînt asamblate într-o instalație stereofonică de prelucrare a semnalelor care este prezentată în fig. 8.14.

După cum se vede din schemă, instalația permite conectarea simultană a patru microfoane stereofonice.

Pentru reglarea intensității, în acest caz, s-a ales varianta cu atenuatoare obișnuite, cuplate mecanic cîte două. Prin urmare, cele patru canale stereofonice se pot transforma în opt canale monofonice. Cu toate că instalația permite realizarea înregistrărilor și transmisiilor bazate pe procedeul AB, se vor face considerații privind posibilitatea efectuării cu această instalație a înregistrăilor stereofonice după procedeele XY și MS.

De la început trebuie menționat (așa cum rezultă și din figură) tendința de a se obține în cît mai multe puncte ale lanțului electroacustic niveluri de ±6 dB, asigurîndu-se în felul acesta posibilitatea de a introduce în lanț, în aceste puncte, elemente corectoare, elemente pentru reverberație etc

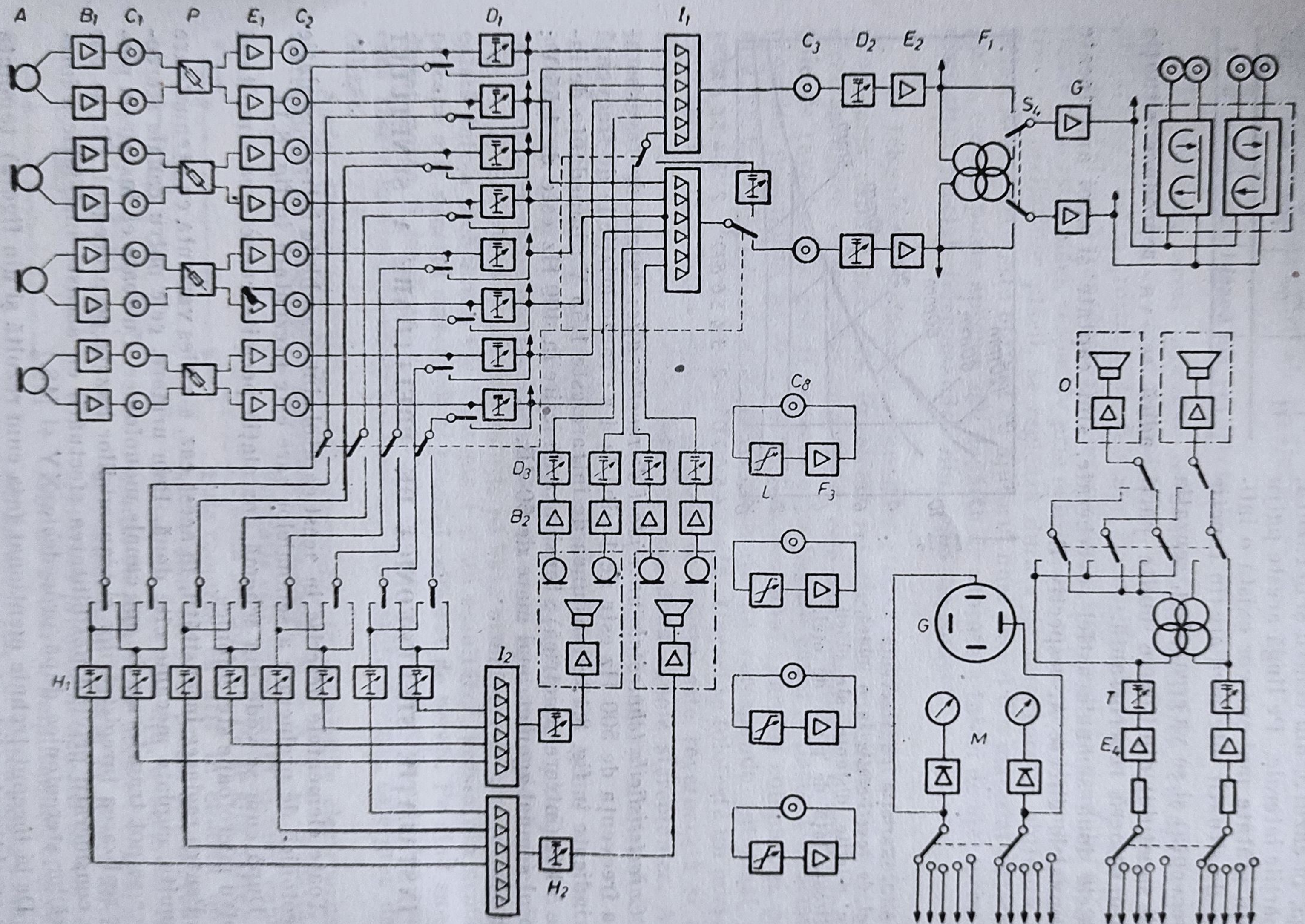


Fig. 8.14. Schema bloc a unei instalații electroacustice stereofonice.

Microfoanele condensator stercofonice A sînt conectate la intrarea *amplificatoarelor* B_1. La ieșirea acestora sînt prevăzute borne care permit introducerea aparatajului pentru măsurători. Urmează apoi *elementele de reglaj ale direcției și ale bazei P*. Atenuarea introdusă de acestea este compensată de *amplificatoarele* E_1.

Introducerea acestor elemente pe fiecare cale de microfon se justifică prin aceea că se creează o gamă mai mare de posibilități în ceea ce privește captarea sunetului și alegerea variantei procedeului de înregistrare XY sau MS. După cum s-a arătat mai înainte, o simplă comutare la elementul de reglaj al direcției permite folosirea fie a procedeului XY, fie a procedeului MS. În continuare sînt conectate *elementele de reglaj al intensității* D_1. Cele două atenuatoare trebuie să aibă caracteristici identice. Într-adevăr, o deosebire între elementele de reglaj al intensității ar provoca o deplasare nereală a imaginii sonore. Din acest motiv, se și cuplează mecanic atenuatoarele. În cazul necuplării acestora și al manipulării nesincrone s-ar obține deplasări ale sursei de sunet fictive care nu ar corespunde cu realitatea.

În vederea compensării atenuărilor din lanț au fost introduse *amplificatoarele* I_1 și E_2. Amplificatoarele I_1 sînt de construcție specială, permițînd conectarea la intrare a mai multor căi de microfon. Lanțul electroacustic este prevăzut cu *borne pentru măsurători* C_3 care preced *atenuatoarele* celor două canale stereofonice D_2. La ieșirea amplificatoarelor E_2 este conectat *transformatorul diferențial* F_1. Prin intermediul acestuia este posibilă obținerea sumei și diferenței semnalelor (M și S). *Comutatorul* S_4 permite ocolirea transformatorului, astfel încît ieșirile amplificatoarelor E_2 sînt legate direct la intrările *amplificatoarelor separatoare G*. Este necesar să fie menționată posibilitatea introducerii unor corecții în lanțul electroacustic. Astfel, elementele corectoare formate din *corectoarele L* și *amplificatoarele* E_3 pot fi conectate în lanțul electroacustic prin legarea bornelor C_8 cu C_2, respectiv C_3. Pentru a introduce aceeași corecție pentru semnalul M și pentru S, se vor cupla mînerele celor două corectoare. Pentru reverberarea producțiilor sonore captate, se observă că se poate lua fie nivelul dinainte, fie cel obținut după atenuatoarele D_1. Acest nivel este introdus, prin intermediul *atenatoarelor* H_1 și H_2 și al *amplificatoarelor* I_2, în camerele de ecou, respectiv în plăcile de reverberație.

Nivelul de microfon al sunetului reverberat este amplificat (B_2) și reglat (D_2), după care este introdus în același amplificator I_1. Instalația descrisă este prevăzută cu posibilitatea controlului obiectiv *M*, *G* și al celui subiectiv E_4, *T*, *O*. De remarcat că la instalația de ascultare s-a introdus transformatorul pentru sumă și diferență. Fiecare punct din schemă însemnat cu săgeată poate fi controlat obiectiv și subiectiv.

Instalațiile moderne pentru înregistrări stereofonice complexe au capacitate mult mai mare, ajungînd pînă la 64 canale de intrare și 24 canale de ieșire, avînd în același timp mult mai multe posibilități de prelucrare, dintre care menționăm în primul rînd înregistrarea fracționată pe magnetofoane cu 24—32 canale precum și mult mai multe posibilități de a introduce diferite efecte sonore artificiale.

În legătură cu schema instalației se mai pot face o serie de precizări, care au însă caracter mai general, ele putînd fi luate în considerare și la alte instalații similare.

Astfel, la o instalaţie stereofonică o importanţă deosebită o prezintă diferenţa de fază. Aşa cum s-a arătat în capitolele anterioare, consecinţele nerespectării condiţiilor de fază alterează imaginea surselor sonore.

Trebuie subliniat că *diferenţele de fază*, inevitabile uneori prin folosirea amplificatoarelor şi modul de executare a cablajului, nu reprezintă un pericol atît timp cît sînt egale în punctele finale ale celor două canale.

Cablajul unei astfel de instalaţii trebuie să fie astfel realizat, încît să se respecte întotdeauna conectarea conductoarelor *a* şi *b* între diferitele elemente ale lanţului electroacustic pentru a nu se produce defazări. Norma referitoare la respectarea culorilor conductoarelor folosite în lucrările de montaj capătă în acest caz o importanţă deosebită. Pentru diferenţele de fază, respectiv diferenţele de timp, valorile maxime impuse prin normele internaţionale sînt :

— pentru o transmisie stereofonică XY : în cazul semnalelor a căror frecvenţă este mai mică de 1000 Hz, diferenţa de timp admisă este 0,2 ms, iar în cazul semnalelor a căror frecvenţă este mai mare de 1000 Hz, diferenţa de fază admisă este de 90 °(de exemplu pentru frecvenţa de 15 kHz, $\tau = 10\ \mu s$).

— pentru o transmisie stereofonică MS, diferenţa de fază admisă este de 20°.

Un alt factor important de care trebuie să se ţină seama este *diafonia*. Într-adevăr, cuplajele capacitive între diversele circuite permit apariţia diafoniei între canale. Pentru evitarea acestui inconvenient se recomandă executarea unui cablaj cît mai îngrijit şi punerea la masă în mod judicios a ecranelor cablurilor folosite. Instalaţiile profesionale trebuie să aibă diafonia între canale mai bună de — 50 dB, abaterile de nivel între canale mai mici de 1,5 dB, iar valoarea minimă a raportului semnal-zgomot de 60 dB.

Nivelul de ascultare nedistorsionat necesar audiţiei stereofonice trebuie să fie de 90 dB.

De remarcat că toate aceste condiţii sînt importante nu numai pentru a se obţine o distribuţie cît mai corectă a surselor sonore virtuale, ci şi pentru a obţine o versiune monofonică cît mai bine realizată tehnic şi artistic. În toate ţările se fac experimentări pentru a stabili subiectiv care sînt valorile admisibile limită, în aşa fel încît să corespundă şi considerentelor economice de care se ţine seama la realizarea aparaturii electroacustice.

8.4. PRELUCRAREA DIGITALĂ A SEMNALULUI DE AUDIOFRECVENŢĂ

În ultimii ani, metodele tehnicii digitale şi-au găsit o largă aplicare în sistemele de prelucrare şi transmisie a informaţiilor, deoarece oferă o bună protecţie faţă de perturbaţii şi permite utilizarea eficientă a canalelor de transmisie. Eforturile cercetătorilor se îndreaptă pe de o parte spre reducerea debitului de informaţie şi, ca urmare, a lărgimii de bandă necesară, iar pe de altă parte asupra problemelor privind înlocuirea metodelor actuale analogice de prelucrare a semnalului, scumpe şi complicate, cu noile metode ale tehnicii digitale.

Prin prelucrare *liniară* (*analogică*) a semnalului se înţelege că reprezentarea semnalului, fie în tensiune, fie în curent, corespunde unei informaţii de program *continue* şi că semnalele interne sînt în general similare cu semnalul de intrare în sistem.

Perfecţionarea circuitelor integrate şi a tehnicilor de integrare pe scară largă, LSI (*large scale integration*), au condus la situaţia în care din ce în ce mai multe sisteme prelucrează semnale în formă digitală.

Plecînd de la experienţa acumulată, s-a trecut la utilizarea acestei tehnici şi în domeniul prelucrării semnalului de audiofrecvenţă, pentru a se obţine indici de calitate superioară şi o mărire a capacităţii de stocare a informaţiei pe diferite tipuri de suporţi (benzi, discuri, filme etc.).

Sistemele digitale de prelucrare a informaţiei se bazează pe utilizarea *modulaţiei impulsurilor în cod* (MIC) sau a *modulaţiei diferenţiale* (sau modulaţie *delta* — MIΔ).

MIC se caracterizează prin faptul că valorile semnalului în punctele de eşantioanare nu sînt transmise ca atare, ci aproximativ, printr-un semnal ce poate lua numai valori discrete. Înlocuirea făcută permite transmiterea în cod a acestui mesaj.

Modulaţia diferenţială (delta) este o modulaţie în cod de un tip particular ; cuvintele de cod, spre deosebire de MIC, nu reprezintă valoarea unui eşantion al semnalului, ci indică numai semnalul diferenţei (exprimat în cod binar) obţinut prin compararea fiecărui eşantion cu eşantionul precedent.

Transformarea unui semnal analogic într-un şir de valori discrete are loc în două etape : eşantionarea şi cuantizarea.

Eşantionarea este procesul (operaţia) de reprezentare a unui semnal analogic prin valorile sale luate la momente de timp discrete şi trebuie să se facă în conformitate cu cerinţele teoremei eşantionării.

Teorema eşantionării afirmă că un semnal analogic $S(t)$, care are cea mai mare frecvenţă din spectru egală cu W, este determinat în mod unic, dacă se cunosc ordonatele $S\left(\frac{n}{2W}\right)$, în care n este un număr întreg, între $-\infty$ şi $+\infty$.

Conform teoremei eşantionării în domeniul timp, expresia semnalului $S(t)$ este

$$S(t) = \sum_{-\infty}^{+\infty} S\left(\frac{n}{2W}\right) \frac{\sin 2\pi W\left(t - \frac{n}{2W}\right)}{2\pi W\left(t - \frac{n}{2W}\right)}$$

Această relaţie exprimă faptul că un semnal analogic $S(t)$ ale cărui componente spectrale nu au frecvenţe mai mari ca W, este perfect determinat de cunoaşterea valorilor semnalului în punctele de eşantionare, distanţate cu $\frac{n}{2W}$ pe axa timpului (fig. 8.15).

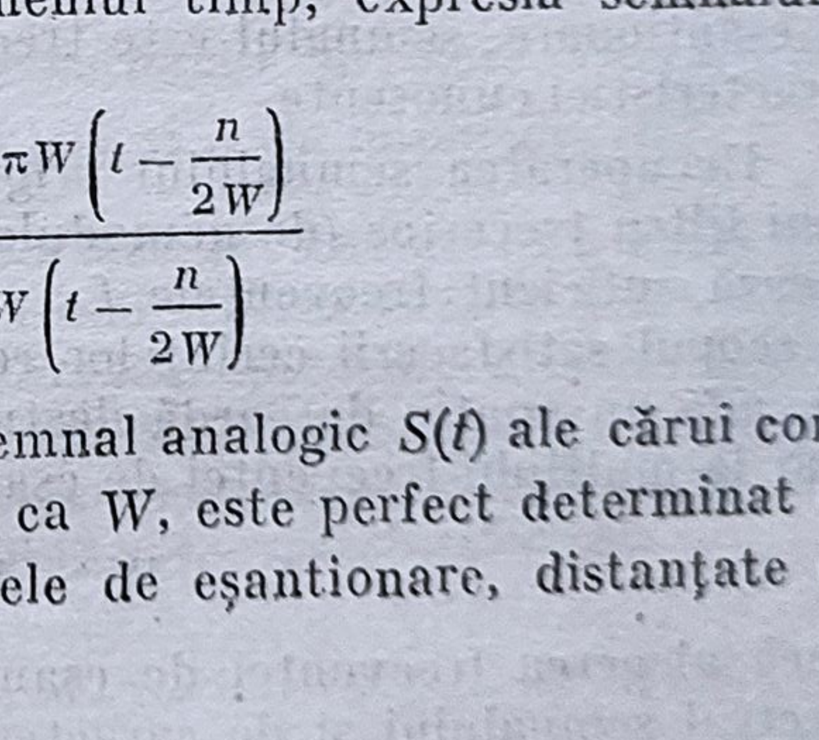


Fig. 8.15. Reprezentarea unui semnal $S(t)$ şi a valorilor lui în punctele de eşantionare, $S\left(\frac{n}{2W}\right)$.

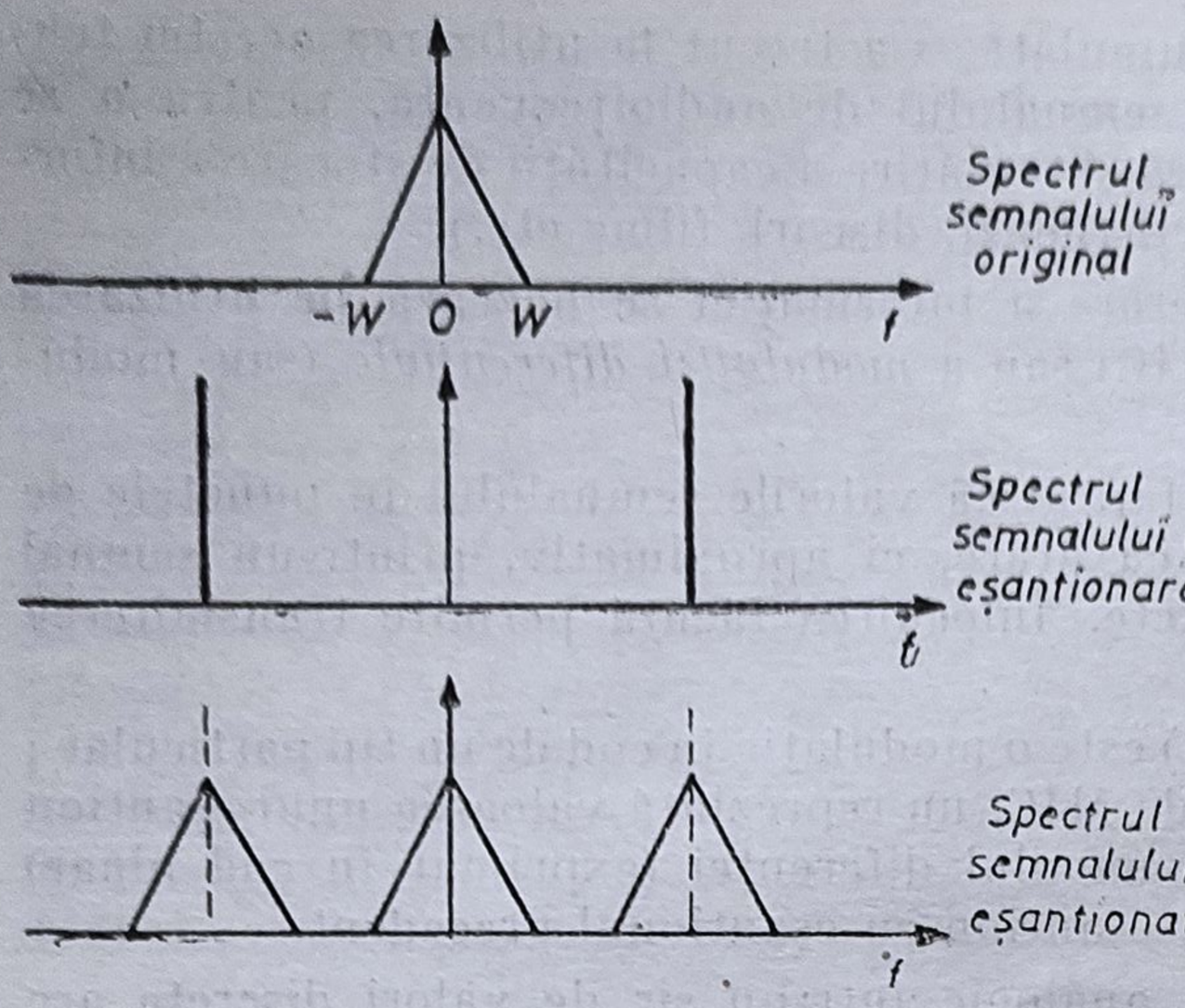


Fig. 8.16. Spectrele semnalelor în procesul de eșantionare.

Spectrele semnalelor în procesul de eșantionare sînt reprezentate în fig. 8.16 folosindu-se următoarele unități :

$\frac{1}{T} = f_s =$ frecvența de eșantionare,

$T =$ intervalul de eșantionare,

$W =$ frecvența Nyquist (cea mai mare frecvență din spectrul semnalului).

Dacă lărgimea de bandă (W) a semnalului nu este cunoscută sau dacă este necesară transmiterea unei anumite frecvențe maxime, atunci, înainte de eșantionare, semnalul este trecut printr-un filtru trece jos de formare cu caracteristici cunoscute.

Recuperarea semnalului original se realizează de regulă prin folosirea unui filtru trece jos (de demodulare) care lasă să treacă frecvența W și atenuează suficient frecvențele $f_s - W$ și toate celelalte frecvențe superioare. În scopul satisfacerii cerințelor reale de proiectare a filtrului, trebuie să se prevadă un spațiu de gardă destul de mare față de spectrele secundare care apar la multiplii frecvenței de eșantionare, adică :

$$f_s - W > W, \text{ deci } f_s > 2W,$$

adică alegerea frecvenței de eșantionare depinde de frecvența maximă din spectrul semnalului și de caracteristicile filtrelor trece jos de formare și de demodulare, precum și de performanțele sistemului.

Cuantizarea este procesul prin care eșantioanele semnalului sînt exprimate prin numere întregi reprezentînd numărul corespunzător de cuante pentru fiecare eșantion (niveluri de cuantizare). Cuantizarea amplitudinilor semnalelor în momentele de eșantionare duce la o aproximare a semnalului care se manifestă la recepție sub formă de *zgomot de cuantizare*.

Cu cît numărul de niveluri de cuantizare este mai mare, reproducerea semnalului este mai bună și zgomotul de cuantizare mai mic.

În urma eșantionării și cuantizării, semnalul este reprezentat (codat) sub forma unui număr digital, care este transmis ca un grup de impulsuri ce alcătuiesc un *cuvînt de cod*.

Impulsurile unui cuvînt de cod pot avea diverse stări, numărul lor constituind baza codului, m.

Cunoscînd baza codului m și numărul de impulsuri n care pot alcătui un cuvînt de cod, numărul valorilor discrete (cuante) N, necesare pentru transmiterea întregii cantități de informație, este :

$$N = m^n$$

În sistemele digitale cu MIC se folosesc în general coduri binare ($m = 2$) și anume *codul binar natural* și *codul binar reflectat* (cod Gray).

În codul binar natural numărul valorilor discrete N pe care le poate lua semnalul se reprezintă sub forma

$$N = \alpha_0 2^0 + \alpha_1 2^1 + \ldots + \alpha_i 2^i + \ldots + \alpha_n 2^n$$

în care $\alpha_0, \alpha_1, \ldots \alpha_n$ pot lua valorile 0 și 1.

Codul binar natural se decodează foarte ușor făcîndu-se suma ponderată a cifrelor pentru a obține nivelul de cuantizare corespunzător combinației de cod considerată. În acest caz însă, o citire greșită la decodare a unui număr α_j poate da o eroare foarte mare, proporțională cu mărimea lui j.

În cazul codului Gray, acest lucru nu este posibil, întrucît în acest cod trecerea de la un nivel la altul, învecinat, se face prin modificarea unui singur bit de cod.

Modularea și demodularea impulsurilor în cod

În fig. 8.17 este prezentată schema bloc a unui sistem digital de prelucrare a informației care utilizează MIC.

Semnalul se aplică circuitului E de eșantionare și fixare, comandat la momentele $t = \frac{n}{2w}$ de eșantionare de un generator de impulsuri (GI).

Tensiunea în trepte obținută la ieșirea acestui circuit este aplicată la intrarea unui convertor analog-digital (CAD) care furnizează la ieșire semnalul codat. În unitatea de decodare se realizează operațiile inverse. Convertorul digital-analog (CDA) livrează la ieșire eșantioanele cuantizate ale semnalului (impulsuri modulate în amplitudine), care sînt aplicate unui FTJ, refăcîndu-se la ieșirea acestuia forma de undă a semnalului digital.

Modularea și demodularea delta

Schema bloc a unui sistem care utilizează MIΔ este prezentată în fig. 8.18.

La fiecare moment de eșantionare, codorul transmite la ieșire un impuls care indică sensul în care semnalul de intrare s-a modificat față de eșantionul precedent. În funcție de semnalul primit de la comparator, modula-

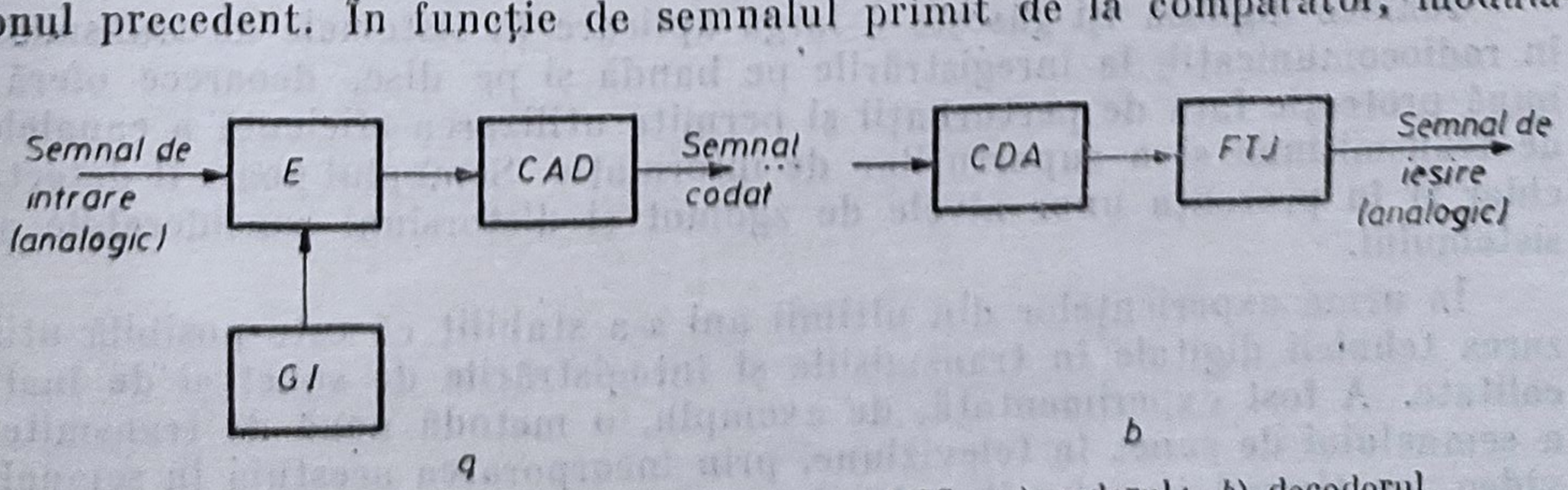


Fig. 8.17. Schema bloc a unui sistem cu MIC : *a*) codorul ; *b*) decodorul.

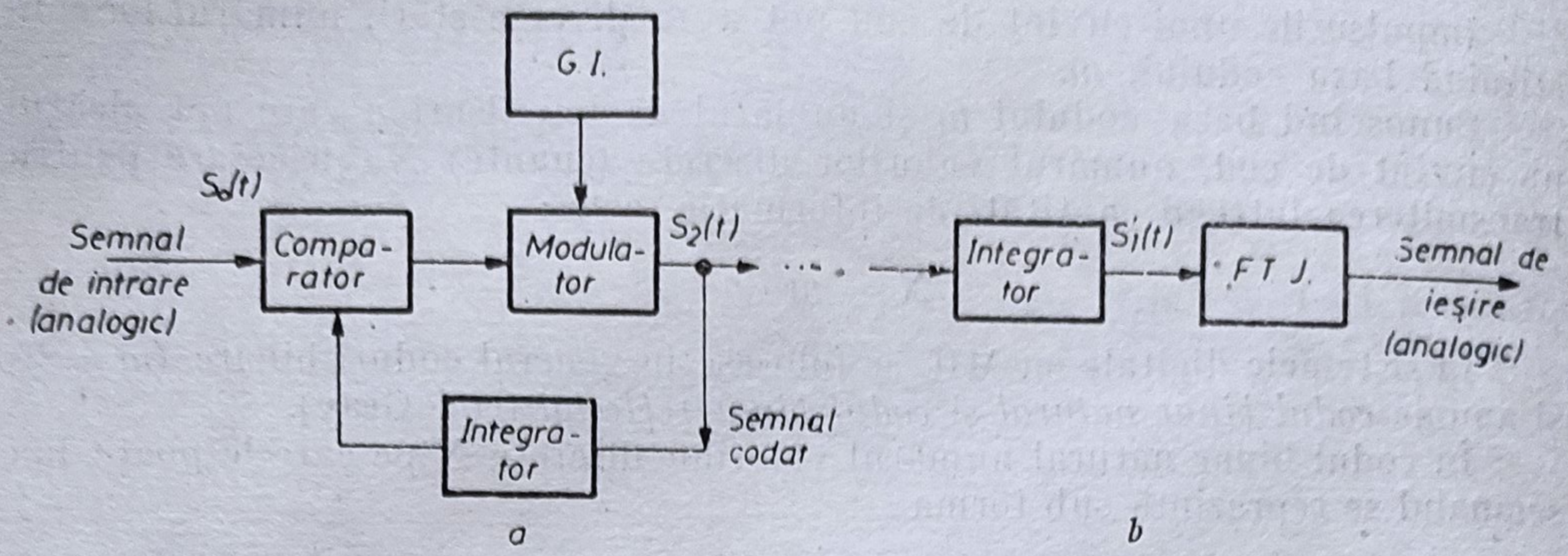


Fig. 8.18. Schema bloc a unui sistem cu MIΔ : *a*) codorul ; *b*) decodorul.

torul M furnizează un șir de impulsuri pozitive sau negative, cu aceeași frecvență ca cea a impulsurilor de eșantionare, starea zero neexistînd. Semnalul diferență este obținut prin compararea semnalului de intrare $S_0(t)$ cu semnalul $S_1(t)$ sintetizat din impulsurile de ieșire prin integrare. Comparatorul decide astfel ce polaritate trebuie să aibă impulsul de ieșire, pentru reducerea diferenței dintre cele două tensiuni $S_0(t)$ și $S_1(t)$. Cînd $S_0(t) > S_1(t)$, comparatorul nu furnizează impuls și modulatorul M dă în momentele de eșantionare impulsuri pozitive. Cînd $S_0(t) < S_1(t)$, comparatorul furnizează impuls și modulatorul M dă impulsuri negative. Semnalul de reacție $S_1(t)$ constă dintr-o serie de trepte de amplitudine δ și este aproximarea „cuantizată" a semnalului de intrare.

În practică, impulsurile negative sînt de obicei omise pe linia de transmisie pentru a se obține un tren de impulsuri unipolare.

Trenul de impulsuri original poate fi reconstituit ușor în decodor suprapunînd peste impulsurile pozitive o serie de impulsuri negative de amplitudine jumătate, avînd frecvență egală cu frecvența de eșantionare ; impulsurile pozitive sînt astfel reduse la impulsuri avînd amplitudinea jumătate, iar zerourile (pauzele) sînt înlocuite cu impulsuri negative.

În decodor (fig. 8.18, *b*), impulsurile primite $S_2(t)$ sînt integrate într-o rețea similară cu cea din codor, pentru a obține semnalul $S_1(t)$ care este o aproximație destul de exactă a semnalului de intrare ; vor exista componente de eroare, datorită naturii cuantizate a impulsurilor.

Semnalul astfel obținut este filtrat cu FTJ. Diferența dintre semnalul original și semnalul obținut la ieșirea decodorului poate fi privită ca un zgomot, care poate fi redus prin mărirea frecvenței impulsurilor de eșantionare astfel încît, pentru aceeași valoare de vîrf a semnalului, δ să fie mai mic.

Tehnica digitală își găsește o largă aplicare în sistemele de transmisie, în radiocomunicații, la înregistrările pe bandă și pe disc, deoarece oferă o bună protecție față de perturbații și permite utilizarea eficientă a canalelor de transmisiune și a suporturilor de informație. Semnalul poate fi detectat chiar și în prezența unor nivele de zgomot și distorsiuni considerabile ale sistemului.

În urma experiențelor din ultimii ani s-a stabilit că este posibilă utilizarea tehnicii digitale în transmisiile și înregistrările de sunet și de înaltă calitate. A fost experimentată, de exemplu, o metodă nouă de transmitere a semnalului de sunet în televiziune, prin încorporarea acestuia în semnalul video, pe timpul impulsurilor de sincronizare pe orizontală, folosind MIC.

Utilizarea acestui sistem permite obținerea unor avantaje asupra sistemului actual de transmisie a semnalului video și audio prin linii separate, asigurîndu-se o transmisie de înaltă calitate a sunetului. În continuare, referirile se vor face numai cu privire la sistemele cu modulația impulsurilor în cod (MIC), întrucît dintre metodele numerice acesta este cea mai utilizată în prezent.

În cadrul unui complex de studiouri, unul din principalele avantaje ale utilizării tehnicii digitale este independența nivelului de ieșire al sistemului față de stabilitatea amplificării părților componente ale canalului de semnal. De asemenea, se poate obține o independență față de distorsiunile neliniare și față de suprasarcini.

Un alt domeniu în care tehnica digitală poate aduce avantaje mari este înregistrarea magnetică a semnalelor audio și video, disponibilitatea unei memorii de înaltă calitate permițînd îmbunătățirea corecțiilor de sincronizare pentru magnetoscoape și magnetofoane.

Capitolul 9

Înregistrarea şi redarea stereofonică a sunetului pe bandă magnetică

9.1. DEZVOLTAREA ÎNREGISTRĂRII SUNETULUI PE BANDĂ MAGNETICĂ

În anul 1899 fizicianul danez Voldemar Poulsen a inventat un aparat care înregistra sunetele printr-un procedeu magnetic, deci cu totul diferit decît principiul folosit de fonograful lui Edison.

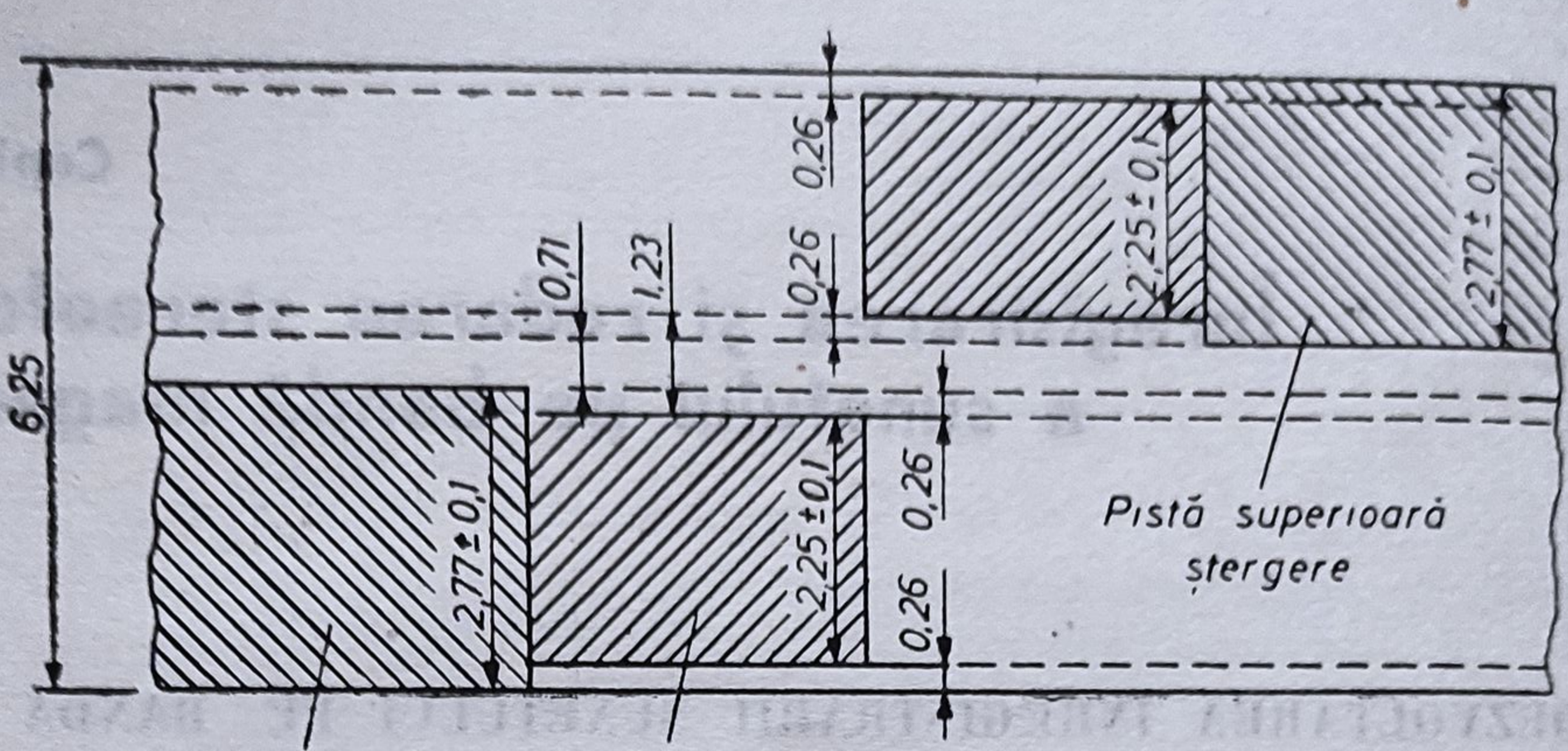
Aparatul inventat de Poulsen, la Copenhaga, a fost brevetat în SUA (cu nr. 661.119 din 21 aprilie 1900) şi a primit numele de „telegrafon", deoarece era destinat înregistrării mesajelor telefonice. La expoziţia universală de la Paris aparatul a primit Marele Premiu.

Aparatul avea doi elecromagneţi care primeau curent de la un microfon. Sunetul era înregistrat pe un fir de oţel rulat între cei doi electromagneţi. Inginerul german Stille a perfecţionat procedeul, folosind în locul firului de oţel care era prea fragil, o bandă de oţel lată de 3 mm. Aparatul era totuşi greoi, capetele magnetice se uzau repede datorită oţelului din care era făcută banda pe care se înregistrau sunetele.

În anul 1928 Fritz Pfleumer, un inginer german a înlocuit banda de oţel cu una din hîrtie acoperită cu oxid de fier. Capul de înregistrare nu se mai uza atît de repede, dar în schimb banda nu era rezistentă.

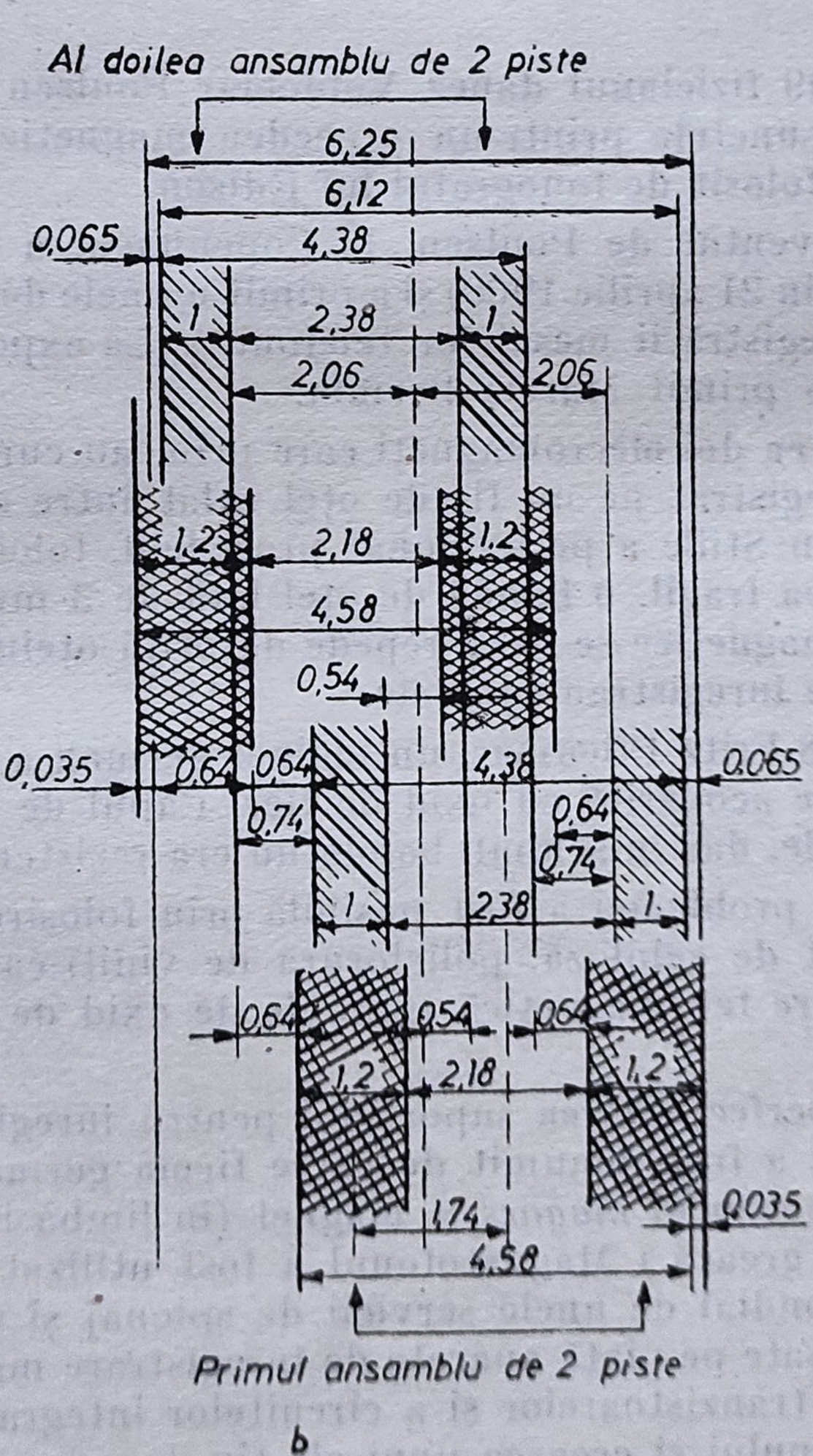
Rezolvarea problemei a fost posibilă prin folosirea materialului plastic (poliester, acetat de celuloză, policlorură de vinil) ca suport pentru stratul subţire de pulbere feromagnetică (granule de oxid de fier amestecate cu un liant).

Paralel cu perfecţionarea suportului pentru înregistrare s-a perfecţionat şi aparatul, care a fost denumit de către firma germană Telefunken „magnetofon", de la cuvîntul *magnes* = magnet (în limba latină) şi *phon* = voce, sunet (în limba greacă.) Magnetofonul a fost utilizat în timpul celui de-al doilea război mondial de unele servicii de spionaj şi contraspionaj. În anul 1945 au foat lansate pe piaţă aparate de înregistrare magnetică pentru marele public. Apariţia tranzistoarelor şi a circuitelor integrate a permis miniaturizarea magnetofonului şi crearea unui alt tip de aparat denumit „casetofon" (sau magnetofon cu casete). Casetofonul are microfon şi difuzor încorporat precum şi o singură viteză de antrenare a benzii. Banda magnetică se află în interiorul unei casete care se introduce în casetofon fără a se rula sau derula în prealabil.



a

Al doilea ansamblu de 2 piste



Primul ansamblu de 2 piste

b

Fig. 9.1. Modul de înregistrare a benzii magnetice cu lățimea de 6,25 mm : *a*) înregistrarea pe două piste ; *b*) înregistrarea pe 4 piste.

9.2. PRINCIPIUL ÎNREGISTRĂRII ŞI REDĂRII STEREOFONICE A SUNETULUI PE BANDĂ MAGNETICĂ

Înregistrarea magnetică este procedeul prin care cîmpul magnetic variabil în care au fost transformate oscilaţiile sonore produce o magnetizare remanentă pe un purtător de sunet aflat în mişcare.

Înregistrarea magnetică *stereofonică* prezintă avantaje în comparaţie cu celelalte sisteme de înregistrare, fapt care a făcut să fie utilizată pe scară foarte largă.

Un avantaj al acestui sistem constă în posibilitatea înregistrării simultane a semnalelor mai multor canale pe aceeaşi bandă magnetică. Alt avantaj derivă din calităţile cunoscute ale benzii magnetice, ca de exemplu : posibilitatea de refolosire a ei prin ştergerea unei înregistrări vechi, posibilitatea de a fi lipită dacă se rupe, lipsă de uzură evidentă în timp, posibilitatea unei redări imediate, durabilitatea înregistrării etc. Ceea ce a făcut însă banda magnetică să fie utilizată într-o măsură mai mare la înregistrările stereofonice este stabilitatea performanţelor. Într-adevăr, cu ajutorul ei se poate obţine o înregistrare cu distorsiuni neliniare foarte mici (abia perceptibile) în întreaga bandă de audiofrecvenţă şi la un nivel destul de ridicat, cu un zgomot de fond extrem de mic şi cu o caracteristică de frecvenţă care face ca redarea să fie de înaltă fidelitate. În ultimul timp s-au obţinut rezultate foarte bune şi în legătură cu reducerea vitezei de înregistrare, punînd condiţii din ce în ce mai uşoare sistemului de antrenare a benzii şi parametrilor mecanici ai suportului acesteia.

Rămîne însă o dificultate, încă — problema realizării dispozitivelor mecanice de translaţie a benzii precum şi a unor benzi magnetice cu parametrii mai buni.

Înregistrarea stereofonică pe bandă magnetică se bazează pe aceleaşi principii ca şi înregistrarea monofonică. Banda magnetică este, de asemenea, aceeaşi în ambele cazuri. La fel sînt şi vitezele de translaţie ale benzii : 38,1 cm/s şi 19,05 cm/s, în cazul înregistrărilor cu caracter profesional, şi 9,53 cm/s şi 4,76 cm/s, în cazul înregistrărilor pentru amatori.

Lăţimea benzii magnetice de 6,25 mm, utilizată la înregistrările monofonice, se împarte în cazul înregistrărilor stereofonice în mai multe zone, astfel încît să se poată înregistra pe 2 sau pe 4 piste în funcţie de necesităţi. În fig. 9.1, *a* sînt indicate dimensiunile şi modul de utilizare a benzilor de magnetofon cu lăţimea de 6,25 mm pentru înregistrările stereofonice pe două piste. Pentru evitarea diafoniei, fiecare pistă se limitează la o lăţime de $2{,}25 + 0{,}1$ mm, demagnetizarea benzii făcîndu-se însă pe o lăţime de $2{,}77 \pm \pm 0{,}1$ mm, iar între cele două piste existînd o zonă de separaţie de 0,71 mm.

O situaţie asemănătoare apare în cazul înregistrărilor pe patru piste (fig. 9.1, *b*), cu deosebirea că fiecare pistă are o lăţime de 1,2 mm, la redare fiind utilă numai lăţimea de 1 mm.

Înregistrarea şi redarea se realizează cu o instalaţie electroacustică (magnetofon) a cărei schemă de principiu este prezentată în fig. 9.2, în care se pot vedea :

— banda magnetică (*1*) ;
— capul de ştergere (*2*) conectat la oscilatorul de ştergere (*5*) ;

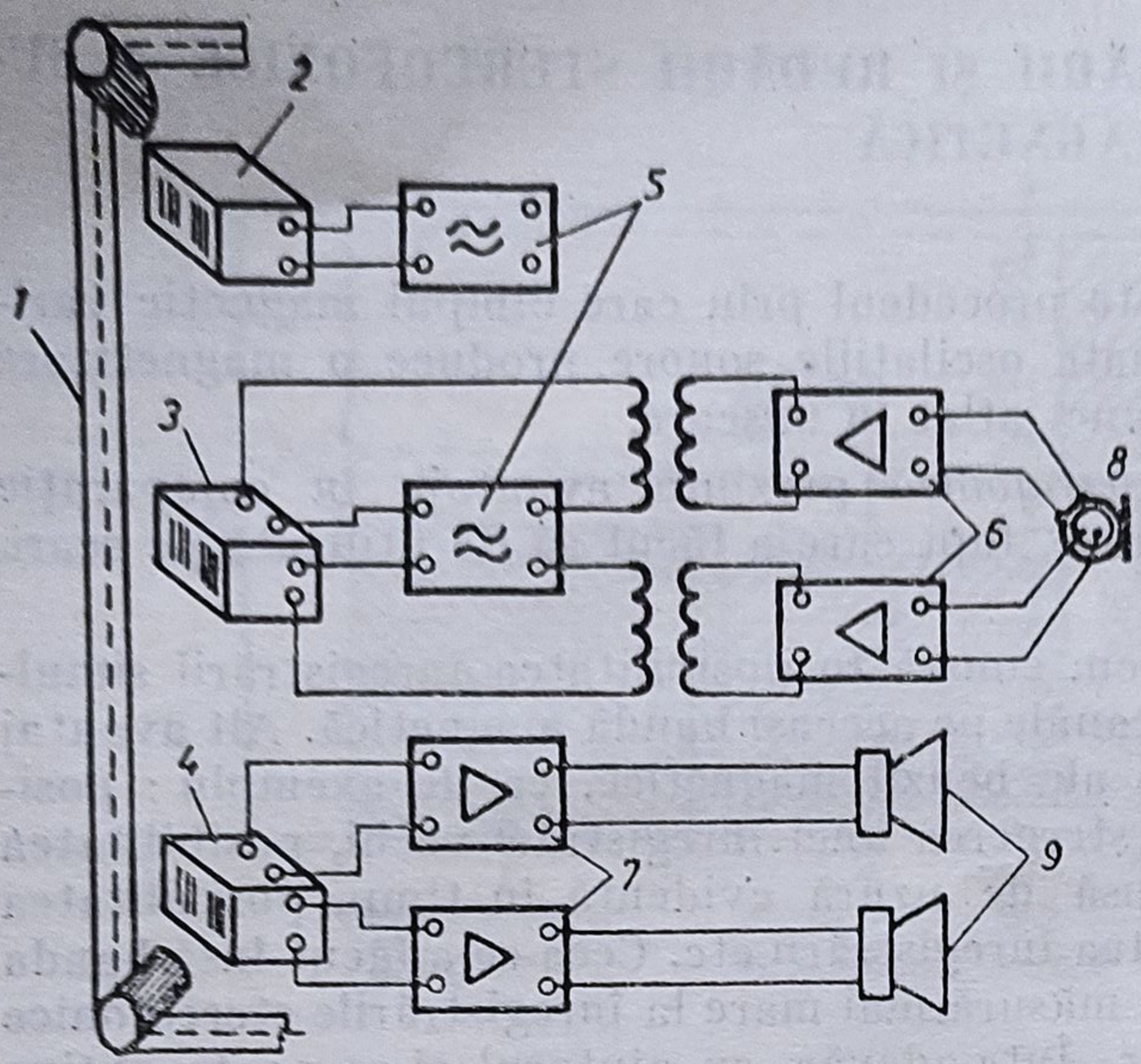


Fig. 9.2. Schema de principiu a instalației pentru înregistrarea și redarea stereofonică.

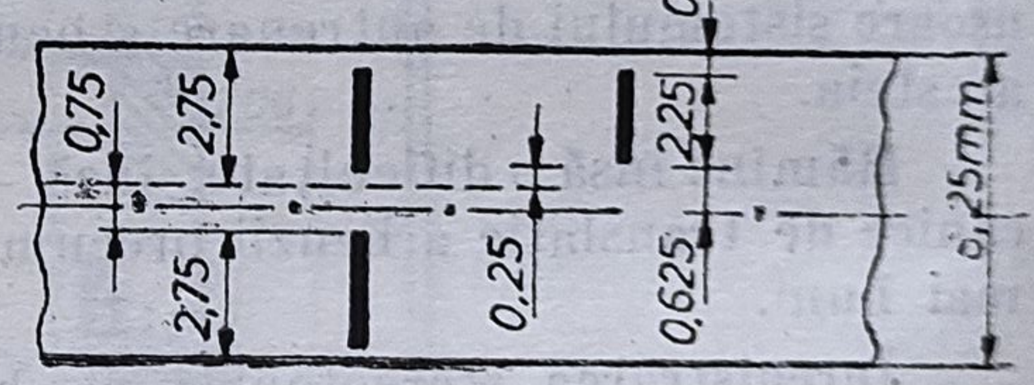
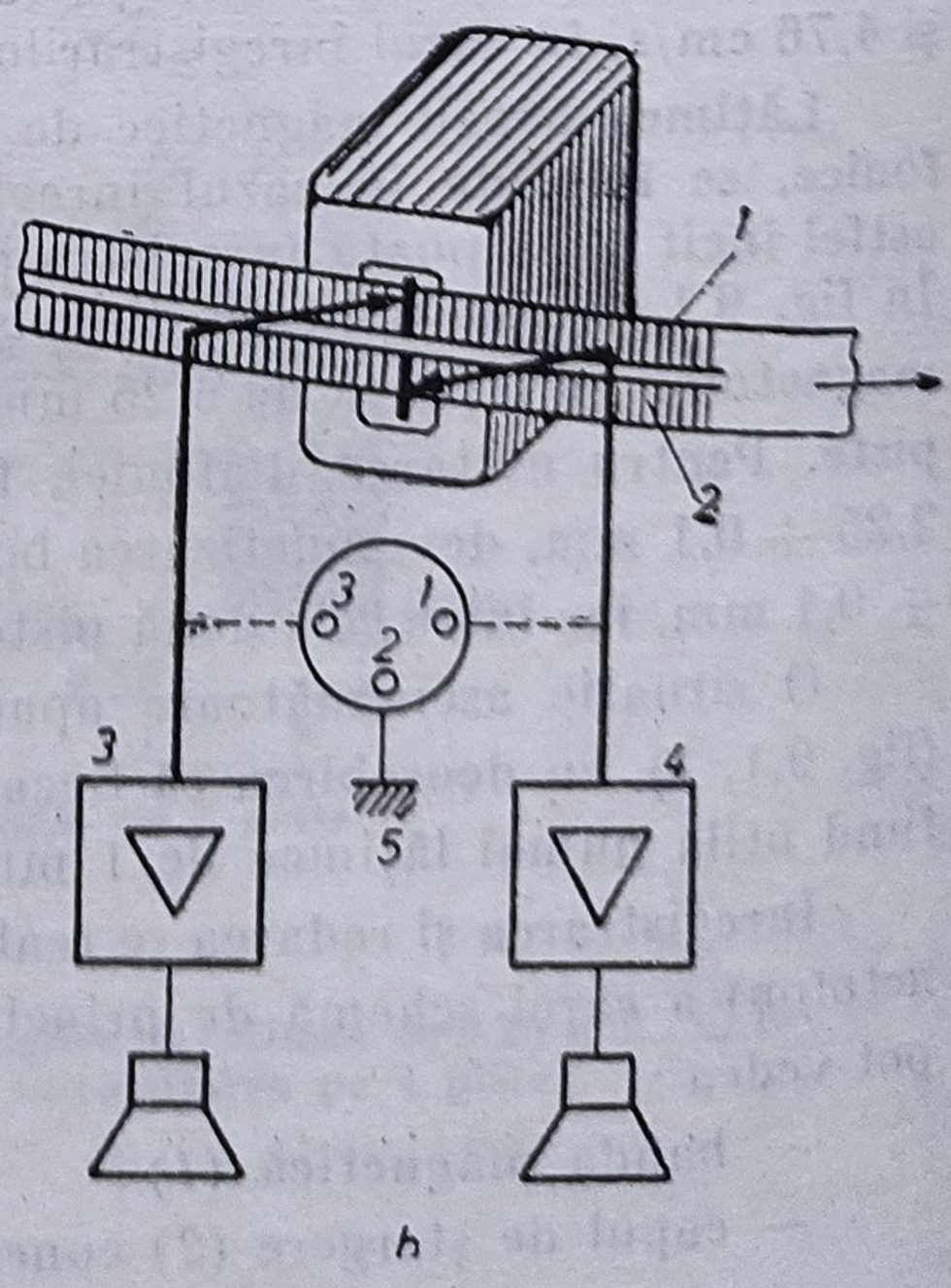


Fig. 9.3. Înregistrarea magnetică pe două piste :
a) dimensiunile pistelor pentru înregistrare ;
b) schema simplificată a redării pe două piste :
1, 2 — pistele înregistrate pe bandă ; *3, 4* — amplificatoare ; *5* — mufe.



— capul de înregistrare stereofonic (*3*) cu două înfășurări și două întrefieruri, conectat la cele două canale de semnal stereofonic prin intermediul generatorului de curent de polarizare (*5*) ;

— capul de redare stereofonic (*4*) cu două înfășurări și două întrefieruri, conectat la cele două canale stereofonice de redare ;

— două amplificatoare de înregistrare (*6*) conectate la microfonul stereofonic (*8*) ;

— două amplificatoare de redare (*7*) conectate la două difuzoare (*9*) ;

— mecanismul de antrenare a benzii magnetice ;

La magnetofoanele profesionale sînt prevăzute amplificatoare separate pentru fiecare canal stereo, atît la înregistrare cît și la redare, iar la magnetofoanele pentru amatori se utilizează același amplificator atît pentru înregistrare cît și pentru redare. La înregistrarea pe două piste, pe ambele piste se înregistrează în același sens. Înregistrarea de pe pista *1* (sus) este destinată canalului situat în stînga ascultătorului, iar înregistrarea de pe pista *2* (jos), canalului din dreapta (fig. 9.3). Pistele sînt înregistrate cu un cap de înregistrare cu două întrefieruri situate pe aceeași verticală și avînd înfășurările astfel conectate încît semnalele electrice înregistrate să fie în fază.

Astfel, la redarea unei benzi înregistrate stereofonic, cu un cap magnetic stereofonic. în cele două difozoare se vor produce presiuni sonore corespunzătoare celor două canale stereofonoce, iar la redarea cu un cap magnetic obișnuit (monofonic) în difuzoare se va produce o presiune sonoră corespunzătoare sumei celor două semnale stereofonice, deci semnal monofonic compatibil. Este evident faptul că o bandă înregistrată monofonic pe toată lățimea sa, este redată de către un cap stereofonic normal, cele două întrefieruri citind fiecare jumătate din lățimea benzii și producînd în cele două difuzoare presiuni sonore în fază (audiție compatibilă).

Frecvența curentului de polarizare a benzii magnetice este necesar să fie aceeași pentru cele două canale stereofonice (înfășurări). Dacă s-ar alimenta cu curenți de frecvențe diferite cele două înfășurări ale capului de înregistrare, ar apărea bătăi care s-ar înregistra pe banda magnetică. În acest fel, *dinamica* magnetofonului, adică raportul dintre nivelul maxim și minim al semnalului înregistrat, s-ar micșora. De aceea, în cele mai multe cazuri, s-a utilizat un singur oscilator pentru alimentarea ambelor înfășurări ale capului de înregistrare stereofonic. Dacă se utilizează două oscilatoare distincte este absolut necesar ca acestea să fie sincronizate, pentru a nu se produce efectul de bătăi.

Deoarece procedeul de înregistrare-redare pe două piste este neeconomic, mai ales pentru amatori, se folosește procedeul de înregistrare-redare cu patru piste (fig. 9.4). La acest procedeu distribuirea pistelor pentru înregistrare este următoarea :

— pista *1* corespunde canalului din stînga și pista *3* corespunde canalului din dreapta pentru un sens de deplasare al benzii ;

— pista *2* corespunde canalului din stînga și pista *4* corespunde canalului din dreapta pentru celălalt sens de mișcare.

Principalul dezavantaj al procedeului de înregistrare magnetică pe patru piste în comparație cu cel pe două piste este reducerea raportului semnal/zgomot. Nivelul semnalului obținut la redarea unei benzi cu patru piste este cu circa 6 dB mai mic față de cel obținut de la o bandă cu două piste. Aceasta înseamnă că raportul semnal/zgomot produs pe o bandă de magnetofon va fi înrăutățit cu cel puțin 6 dB.

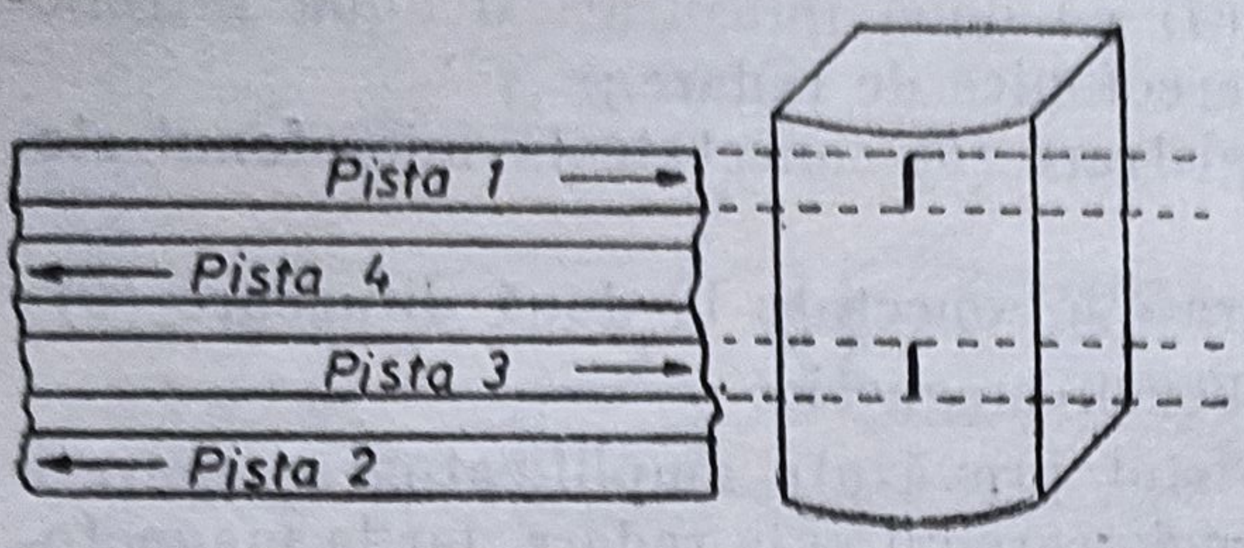


Fig. 9.4. Distribuirea pistelor pe bandă : pentru un sens — pista 1 canal stînga, pista 3 canal dreapta ; pentru al doilea sens — pista 2 canal stînga, pista 4 canal dreapta.

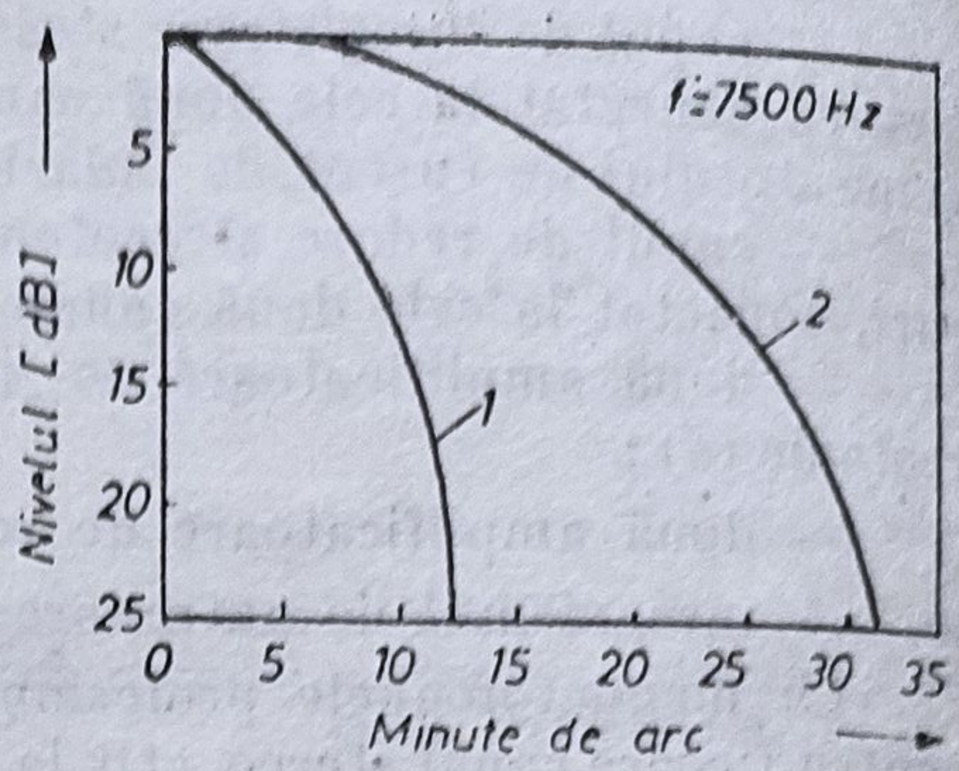


Fig. 9.5. Pierderile într-un cap de redare datorită nealinierii fantelor : *1* — în cazul înregistrării pe pista întreagă ; *2* — în cazul înregistrării pe jumătate de pistă.

Înregistrările pe patru piste au şi unele avantaje, şi anume :

— datorită lăţimii mai mici a stratului înregistrat, alinierea celor două fante este mai puţin critică. Pentru a se ilustra acest avantaj, în fig. 9.5 se compară pierderile datorate alinierii capului pentru o înregistrare pe o pistă întreagă (*1*) şi pe o jumătate de pistă (*2*). Se vede că panta curbei de pierdere pentru o înregistrare pe jumătate de pistă este mult mai mică decît a curbei trasate pentru pista întreagă : astfel, la o deviere mică, pierderile sînt mult mai mici pentru înregistrarea pe jumătate de pistă.

— atenuarea de diafonie este mult mai mare, deoarece pistele înregistrate pe bandă magnetică se află dispuse la o distanţă mai mare decît în cazul înregistrării pe două piste.

— se pot înregistra patru piste monofonice dublînd în felul acesta capacitatea de redare. Succesiunea de înregistrare sau redare este : 1, 4, 3 şi 2. În cazul acesta pistele de înregistrare au dimensiunile de $1 \pm 0{,}03$ mm, cu un interval între ele de 0,74 mm.

— un număr destul de mare de magnetofoane de acest tip oferă posibilitatea efectuării unor comutări rapide pentru a trece de la poziţia de înregistrare pe poziţia de redare, ceea ce a condus la utilizarea lor într-o măsură din ce în ce mai mare.

9.3. PROCEDEE DE ÎNREGISTRARE ŞI REDARE A SUNETULUI PE BANDĂ MAGNETICĂ

9.3.1. ÎNREGISTRAREA ŞI REDAREA MONOFONICĂ A SUNETULUI PE BANDĂ MAGNETICĂ

Schema de principiu pentru înregistrarea monofonică a sunetului pe bandă magnetică este prezentată în fig. 9.6. Sunetul este captat de un microfon ce furnizează la ieşire un semnal electric care este amplificat de un amplificator cu zgomot mic, reglat la nivelul normalizat de un atenuator de nivel şi introdus într-un corector cu care se poate corecta caracteristica de frecvenţă.

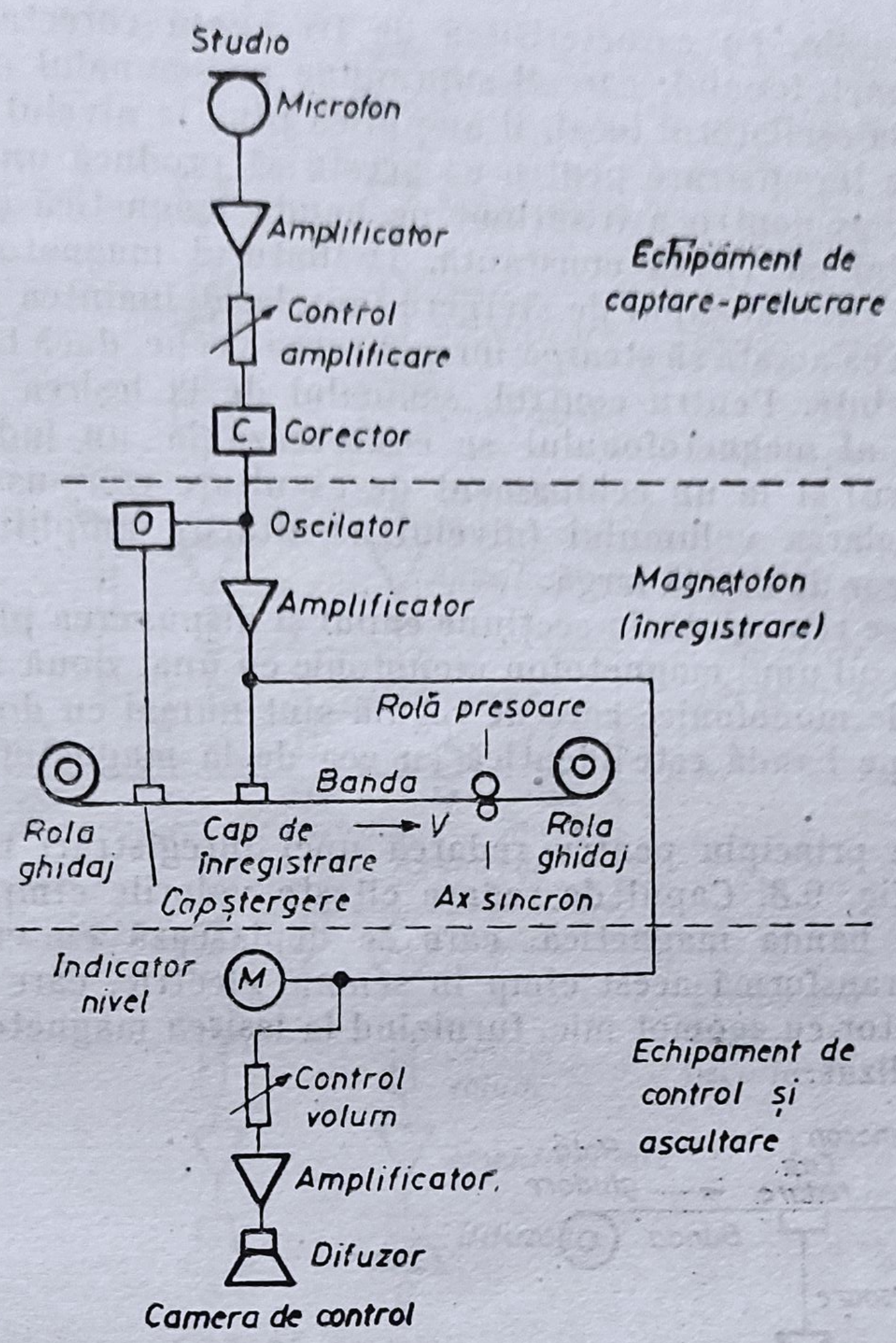


Fig. 9.6. Schema de principiu pentru înregistrarea monofonică a sunetului pe bandă.

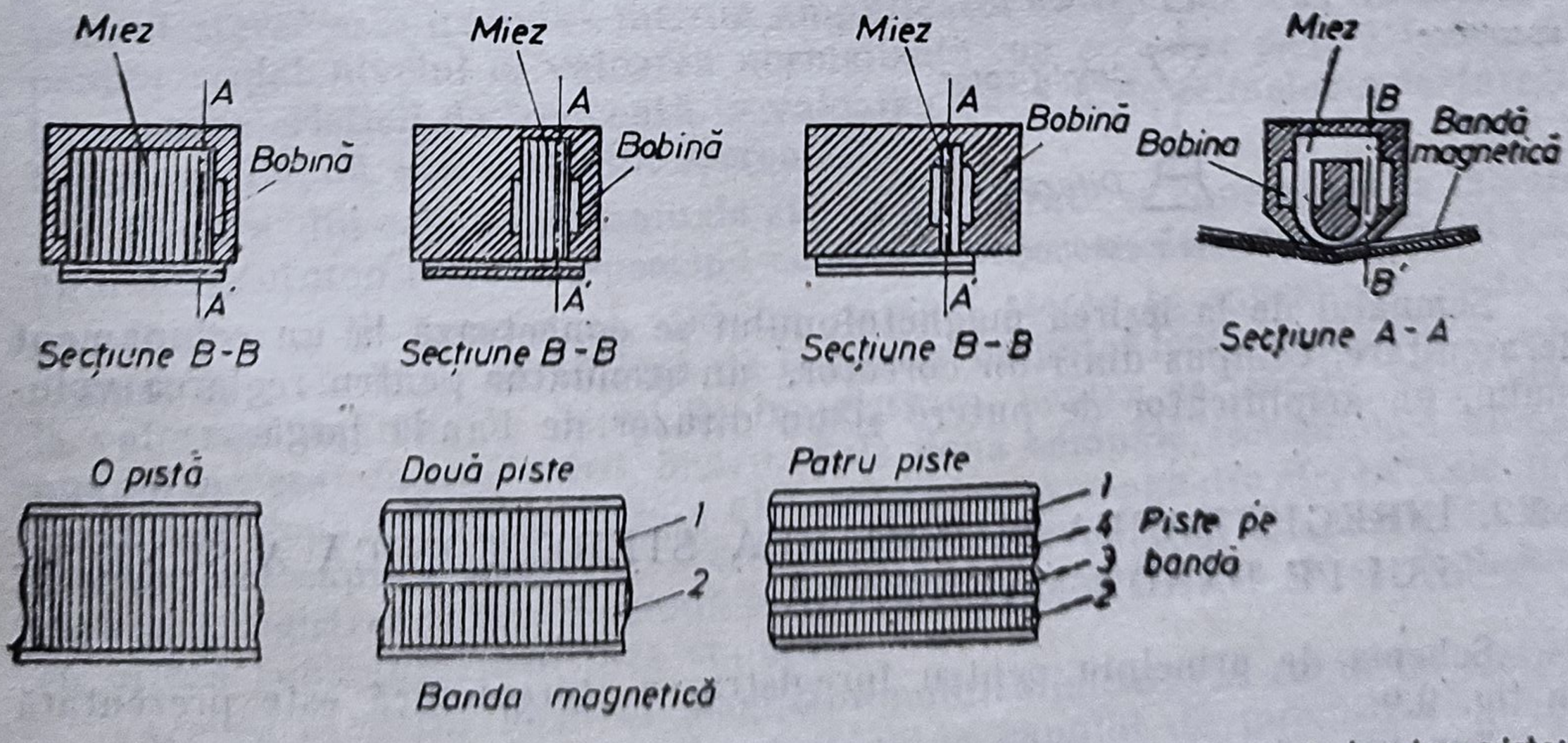


Fig. 9.7. Vederi-secțiune prin capul unui magnetofon monofonic cu una, două și patru piste: AA' — secțiune orizontală; BB' — secțiune verticală.

Semnalul audio, cu caracterisitca de frecvenţă corectată, se introduce la intrarea magnetofonului, care îl suprapune pe semnalul de polarizare de ÎF preluat de la oscilatorul local, îl amplifică pînă la nivelul necesar alimentării capului de înregistrare pentru ca acesta să producă un cîmp magnetic suficient de intens pontru a fi reţinut pe banda magnetică ce se deplasează prin faţa capului cu viteză constantă. Oscilatorul magnetofonului alimentează în acelaşi timp şi capul de ştergere (amplasat înaintea capului de înregistrare) pentru ca acesta să şteargă înregistrarea veche, dacă banda a mai fost înregistrată înainte. Pentru control, semnalul de la ieşirea amplificatorului de înregistrare al magnetofonului se conectează la un indicator de nivel (*M*-modulometru) şi la un echipament de ascultare compus dintr-un atenuator pentru reglarea volumului (nivelul ascultării), amplificatorul de putere şi un difuzor de bandă largă.

În fig. 9.7 se reprezintă în secţiune capul şi dispunerea pistelor pe banda magnetică în cazul unui magnetofon monofonic cu una, două sau patru piste. La casetofoanele monofonice care de regulă sînt numai cu două piste, dispunerea pistelor pe bandă este identică cu cea de la magnetofonul monofonic cu două piste.

Schema de principiu pentru redarea unei înregistrări monofonice este prezentată în fig. 9.8. Capul de redare citeşte valorile cîmpului magnetic, înregistrate pe banda magnetică, care se deplasează cu viteză constantă prin faţa sa ; transformă acest cîmp în semnal electric, care este amplificat de un amplificator cu zgomot mic, furnizînd la ieşirea magnetofonului semnal cu nivel normalizat.

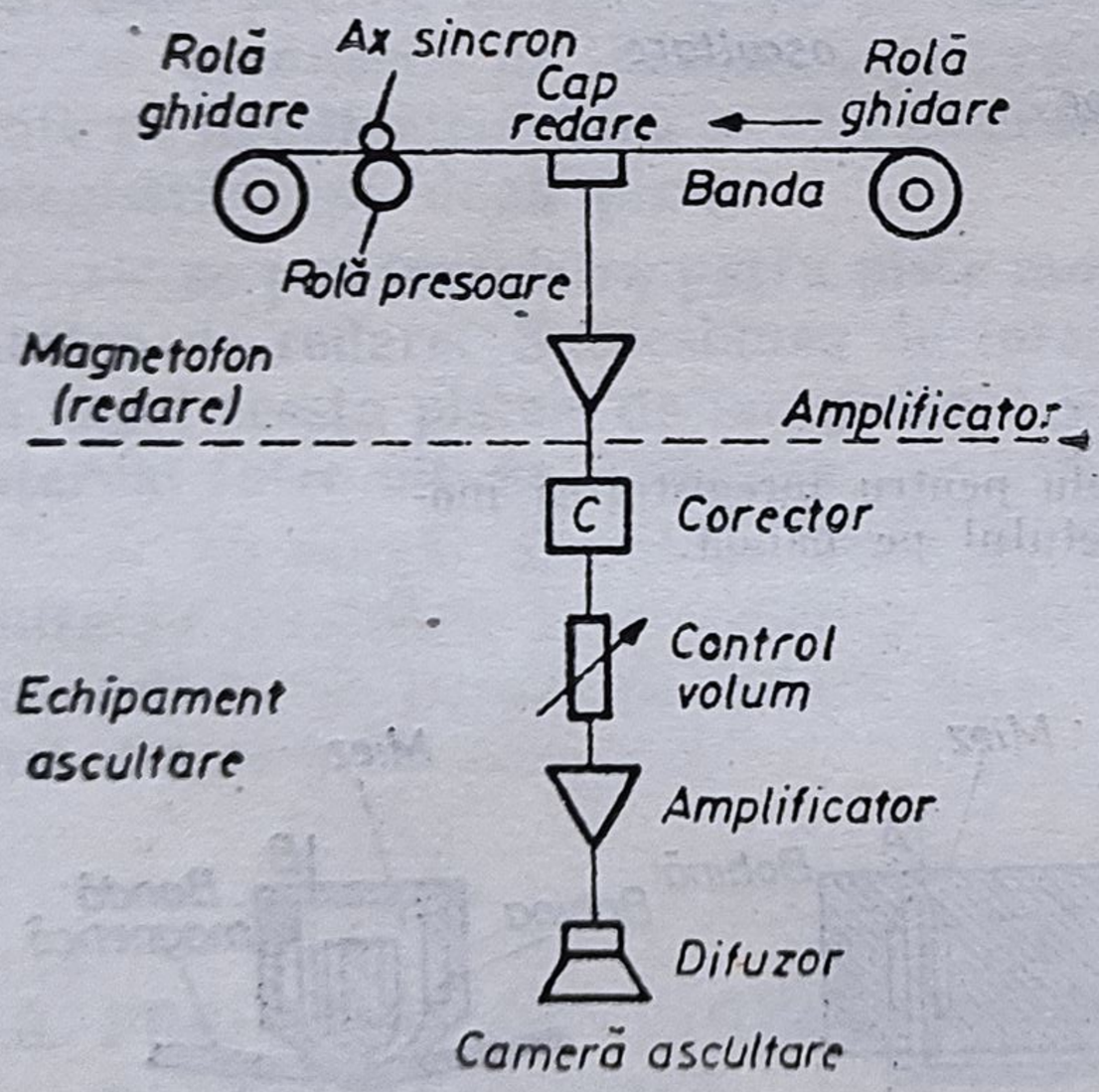


Fig. 9.8. Schema de principiu pentru redarea monofonică a sunetului înregistrat pe bandă magnetică.

Semnalul de la ieşirea magnetofonului se conectează la un echipament de ascultare, compus dintr-un corector, un atenuator pentru reglarea volumului, un amplificator de putere şi un difuzor de bandă largă.

9.3.2. ÎNREGISTRAREA ŞI REDAREA STEREOFONICĂ A SUNETULUI PE BANDĂ MAGNETICĂ

Schema de principiu pentru înregistrarea stereofonică este prezentată în fig. 9.9.

Sunetul este captat de două microfoane monofonice sau un microfon stereofonic, care la ieşire furnizează două semnale electrice ce conţin in-

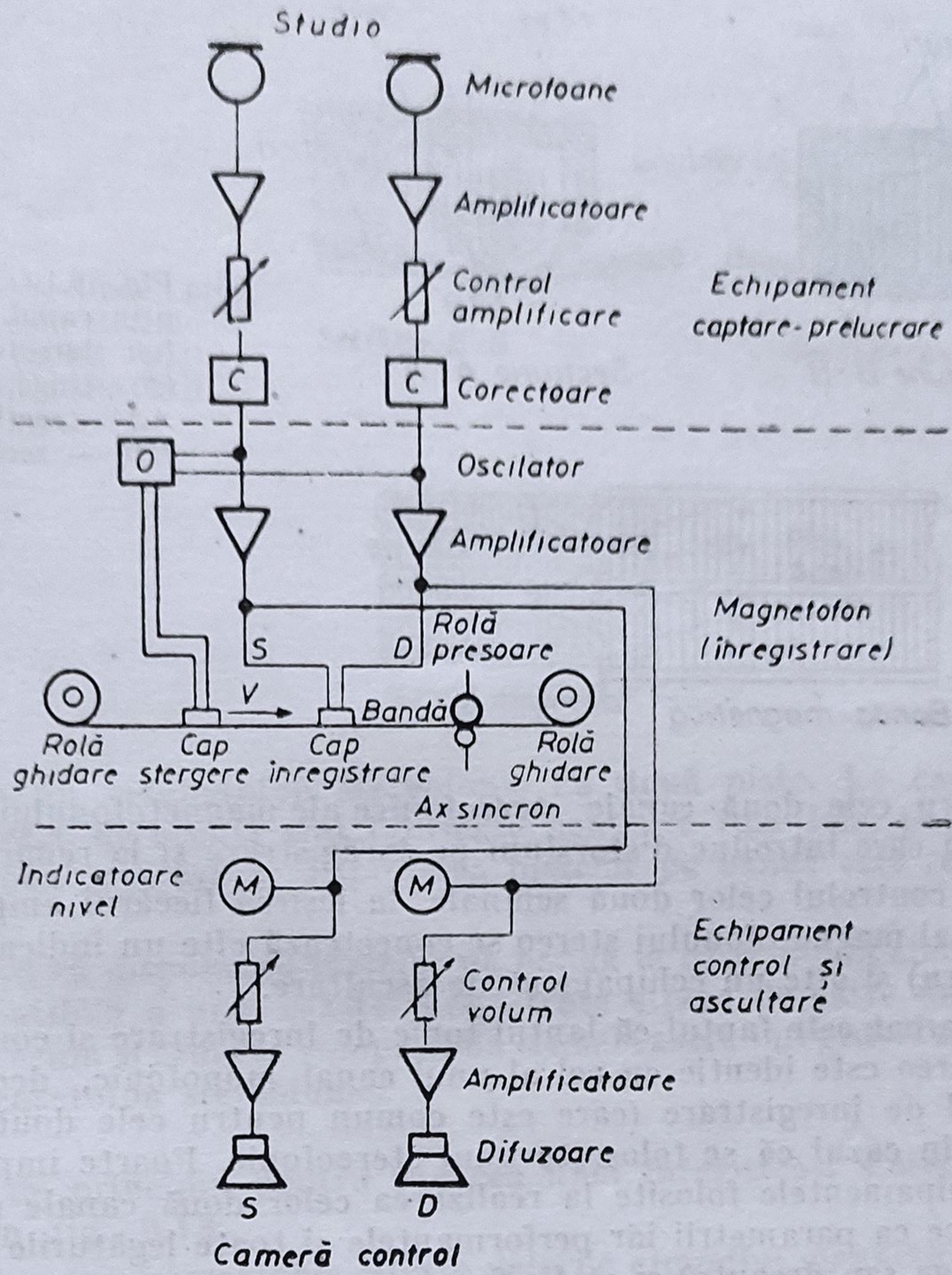


Fig. 9.9. Schema de principiu pentru inregistrarea stereofonică a sunetelor.

formaţia stereofonică corespunzătoare canalelor stînga şi dreapta. Fiecare semnal stereo este introdus într-un amplificator cu zgomot mic, un atenuator pentru reglat nivelul la valoarea normalizată, un corector pentru îmbunătăţirea caracteristicii de frecvenţă la valoarea impusă de tehnologia de înregistrarea pe bandă a semnalului stereo.

Fiecare din cele două semnale stereo prelucrate se conectează la intrarea unui magnetofon stereo respectînd corespondenţa canalelor stînga şi dreapta.

Pentru a fi înregistrat, fiecare semnal stereo se suprapune peste un semnal de polarizare de ÎF luat de la acelaşi oscilator local, se amplifică pînă la valoarea impusă de capul de înregistrare, pentru ca acesta să producă cîmpul necesar magnetizării benzii. Cele două semnale stereofonice alimentează cele două înfăşurări fazate ale aceluiaşi cap magnetic stereo. Cele două secţiuni ale capului magnetic stereo produc două cîmpuri magnetice în fază, care se înregistrează pe cele două piste ale benzii magnetice ce se deplasează cu viteză constantă prin faţa capului.

Acelaşi oscilator local al magnetofonului alimentează capul de ştergere stereo (cu două secţiuni) amplasat înaintea capului de înregistrare pentru a şterge înregistrarea veche. Nu este indicat să se folosească oscilatoare se-

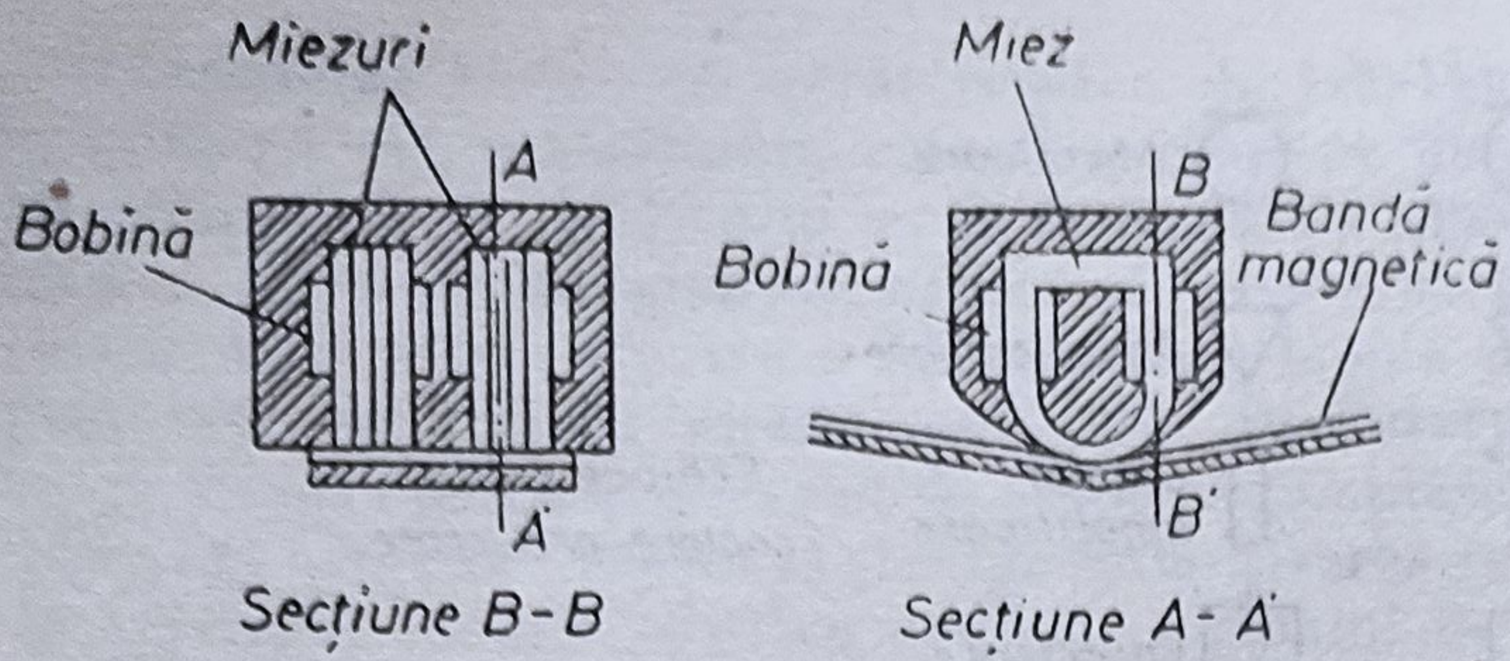


Fig. 9.10. Vederi-secțiune prin capul unui magnetofon stereofonic cu o pistă (*S* stînga, *D* dreapta): *AA'* — secțiune orizontală; *BB'* — secțiune verticală.

părate pentru cele două canale stereofonice ale magnetofonului deoarece se produc bătăi care introduc distorsiuni pe înregistrare și la redare.

Pentru controlul celor două semnale, la ieșirea fiecărui amplificator de înregistrare al magnetofonului stereo se conectează cîte un indicator de nivel (modulometru) și cîte un echipament de ascultare.

De remarcat este faptul că lanțul fonic de înregistrare și control pentru un canal stereo este identic cu cel al unui canal monofonic, deosebit fiind numai capul de înregistrare (care este comun pentru cele două canale) și microfonul, în cazul că se folosește unul stereofonic. Foarte important este ca toate echipamentele folosite la realizarea celor două canale stereofonice să fie identice ca parametrii iar performanțele și toate legăturile să respecte canalul (stînga sau dreapta) și să fie fazate.

În fig. 9.10 se reprezintă în secțiune capul și dispunerea pistelor pe bandă în cazul unui magnetofon stereofonic cu o pistă, iar în fig. 9.11 aceleași ele-

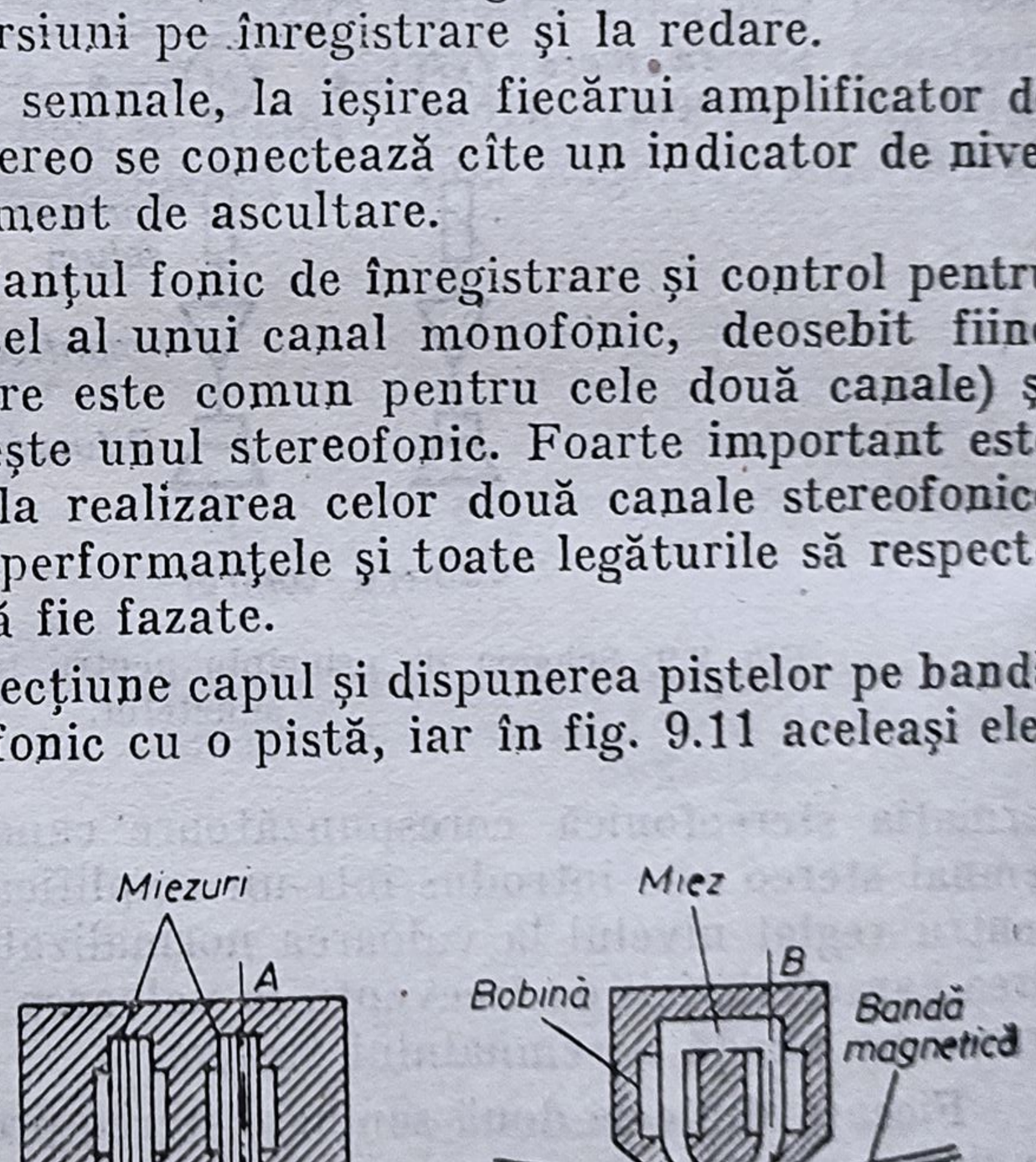
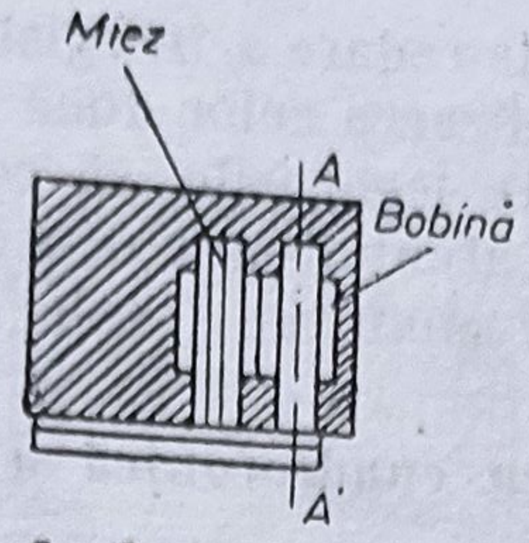
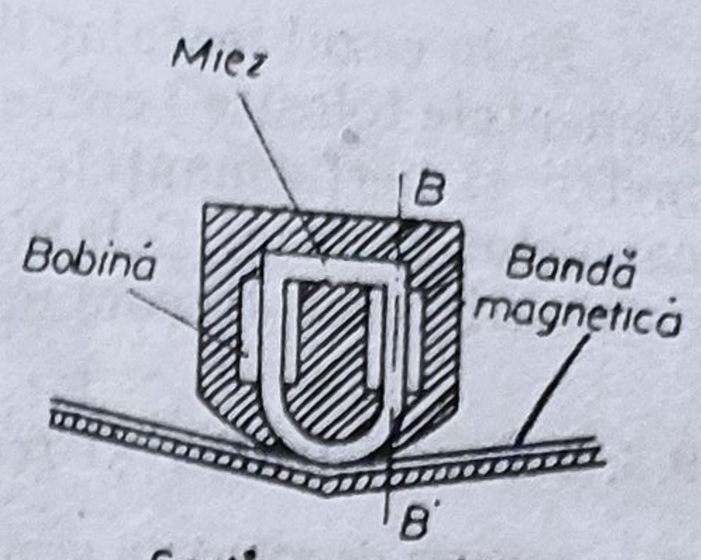


Fig. 9.11. Vederi-secțiune prin capul unui magnetofon stereofonic cu două piste (S_1D_1, S_2D_2): *AA'* — secțiune orizontală; *BB'* — secțiune verticală.

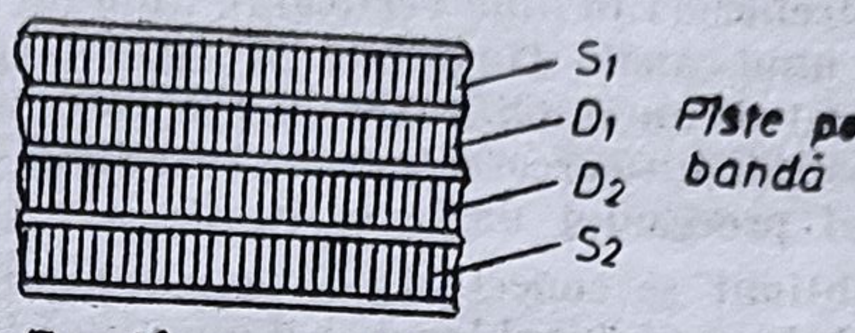


Secțiune B - B'



Secțiune A - A'

Fig. 9.12. Vederi-secțiune prin capul unui casetofon stereofonic cu două piste (S_1D_1, S_2D_2): AA' — secțiune orizontală; BB — secțiune verticală.



mente pentru un magnetofon stereofonic cu două piste. La casetofoanele stereofonice, care de regulă sînt fabricate pentru a funcționa pe două piste stereo, secțiunea prin cap și dîspunerea pistelor pe bandă este reprezentată în fig. 9.12.

Se observă că dispunerea pistelor pe bandă la casetofonul stereo permite redarea compatibilă a unei casete înregistrate stereo de către un casetofon monofonic, precum și redarea compatibilă a unei casete înregistrate monofonic de către un casetofon stereofonic.

Schema de principiu pentru redarea unei înregistrări stereofonice este prezentată în fig. 9.13.

Capul de redare stereofonic citește valorile cîmpului magnetic înregistrat pe cele două piste ale benzii magnetice care se deplasează cu viteză constantă prin fața sa și produce în cele două înfășurări semnale electrice corespunzătoare celor două canale stînga și dreapta. Fiecare din cele două semnale este amplificat de un amplificator cu zgomot mic, furnizînd la ieșire magnetofonului două semnale stereo cu nivele normalizate. Cele două semnale de la ieșirea magnetofonului se conectează în mod corespunzător fiecare la cîte un echipament de ascultare (stînga și dreapta).

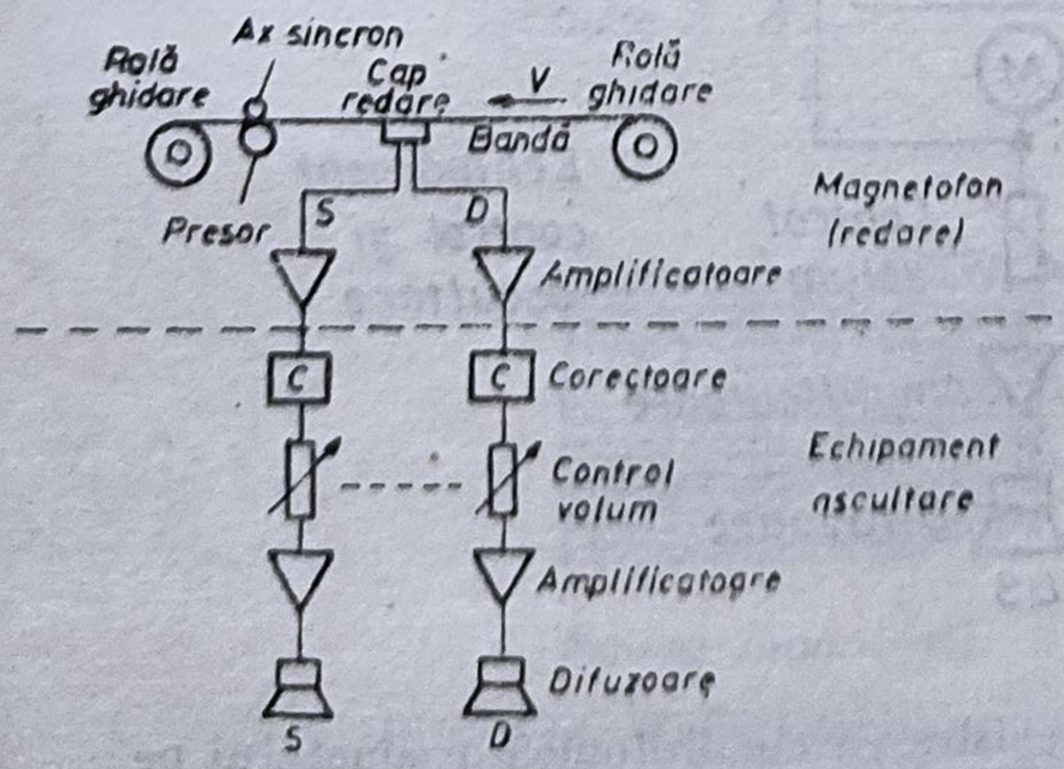


Fig. 9.13. Schema de principiu pentru redarea stereofonică a sunetului înregistrat pe bandă.

Şi în cazul instalaţiilor de redare a înregistrării stereo se impune ca echipamentele folosite pentru realizarea celor două canale să fie identice, ca paracanalelor şi faza. Cele două atenuatoare pentru reglarea volumului (nivelul ascultării) vor fi comandate simultan (reglaj comun).

9.3.3. Înregistrarea şi redarea cuadrofonică a sunetului pe bandă magnetică

Schema de principiu pentru înregistrarea *cuadrofonică* pe bandă magnetică este prezentată în fig. 9.14. După cum se vede din schema de principiu, elementele care compun lanţul unui canal sînt identice, cu excepţia microfonului care poate fi cuadrofonic (un microfon cu patru capsule direcţionate la 90°) şi a capului de înregistrare al magnetofonului, care are patru înfăşurări şi patru întrefieruri în linie verticală). Sunetul captat de microfon şi convertit în semnal electric, destinat unui canal (stînga faţă *SF*, stînga spate *SS*, dreapta faţă *DF* şi dreapta spate *DS*) este amplificat de un amplificator cu zgomot mic reglat la nivelul necesar cu un atenuator de nivel, introdus într-un corector pentru ca banda de frecvenţă a semnalului să poată fi corectată în timpul procesului de înregistrare.

Semnalul obţinut se conectează la canalul corespunzător, care-l suprapune peste semnalul de IF luat de la oscilatorul local şi îl amplifică la nivelul necesar pentru alimentarea înfăşurării corespunzătoare.

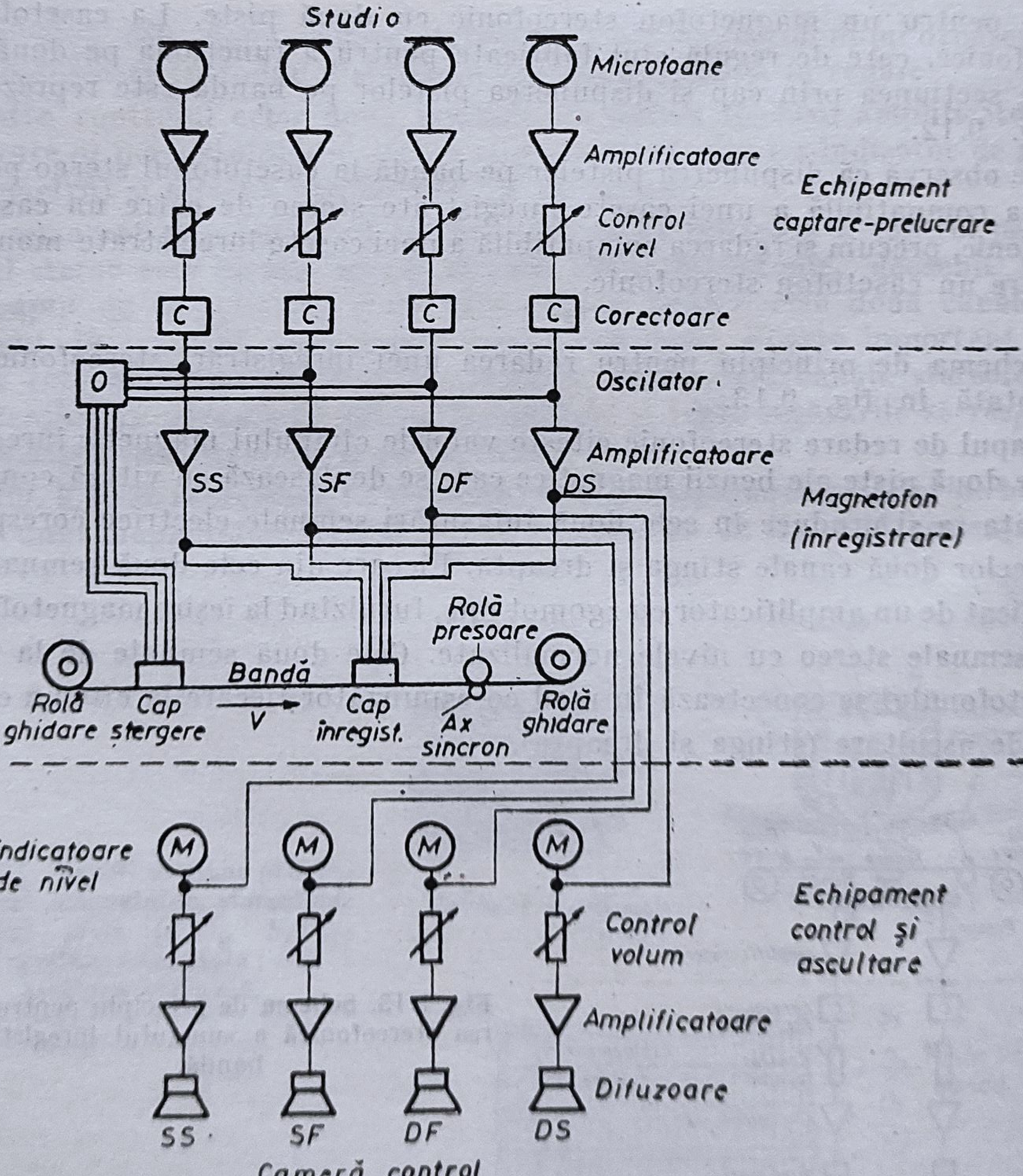


Fig. 9.14. Schema de principiu pentru înregistrarea cuadrofonică a sunetului pe bandă magnetică.

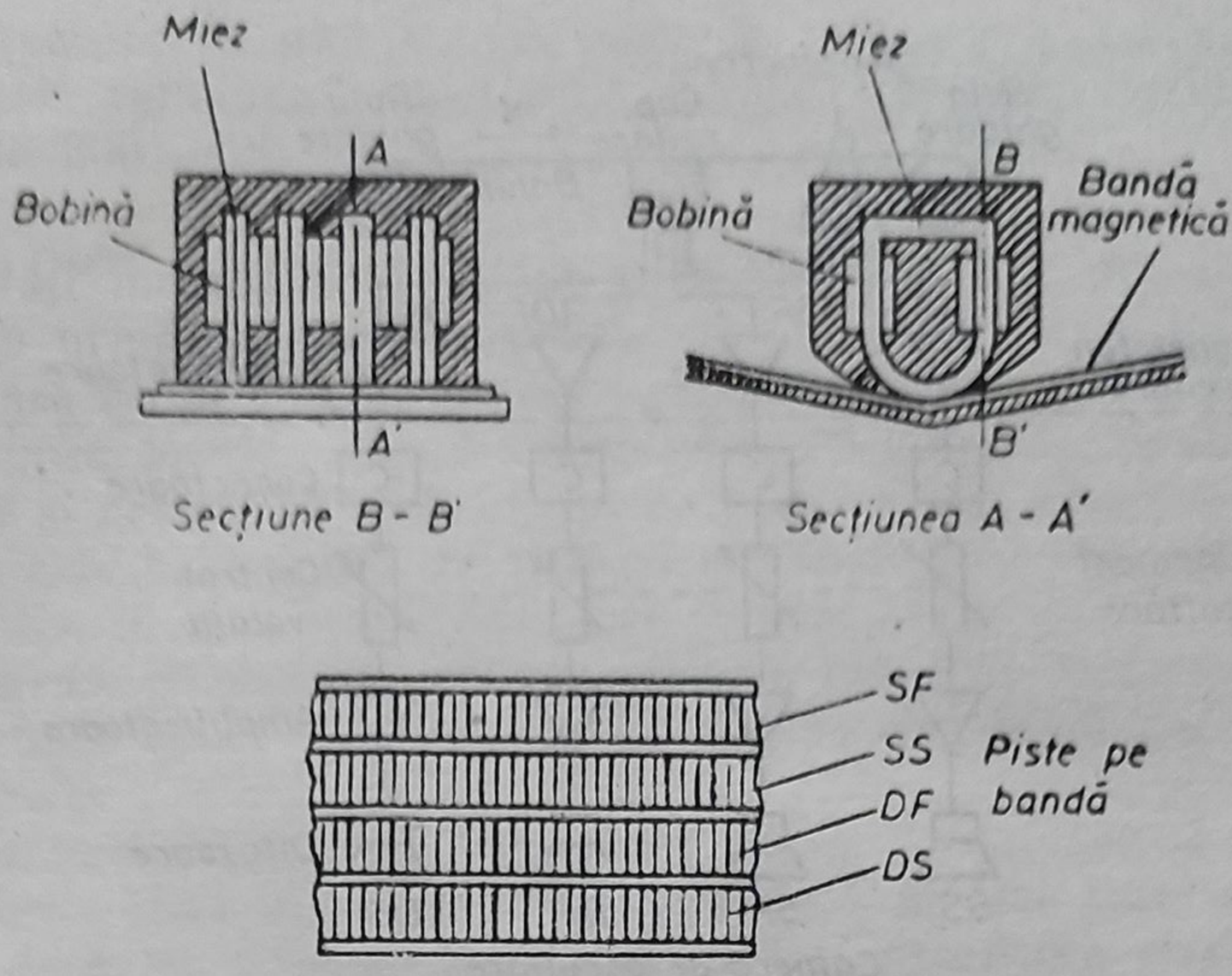


Fig. 9.15. Vederi-secțiune prin capul unui magnetofon pentru înregistrare cuadrofonică: AA' — secțiune orizontală; BB' — secțiune verticală.

Pentru controlul semnalului, la ieșirea amplificatorului de înregistrare al magnetofonului se conectează pentru fiecare canal un modulometru și un echipament de ascultare. Înregistrarea se face, pe magnetofoane, de regulă pe toată banda, deci pe patru piste într-un singur sens așa cum arată în fig. 9.15; pe casetofoane se păstrează regula de a se înregistra pe două piste cuadrofonice (două sensuri) respectiv cîte patru piste în fiecare sens (fig. 9.16). Atît la magnetofoane, cît și la casetofoanele cuadrofonice, se realizează compatibilitatea cu ascultarea benzilor și respectiv casetelor, pe magnetofoane și respectiv casetofoane stereofonice pe două piste.

Schema de principiu pentru redarea cuadrofonică a sunetului este prezentată în fig. 9.17. Lanțurile fonice ale celor patru canale sînt identice, cu excepția capului de citire cuadrofonic, care este un cap cu patru întrefieruri și patru înfășurări separate.

Fig. 9.16. Vederi-secțiune prin capul magnetic al unui casetofon pentru înregistrarea cuadrofonică pe două piste: AA' — secțiune orizontală; BB' — secțiune verticală.

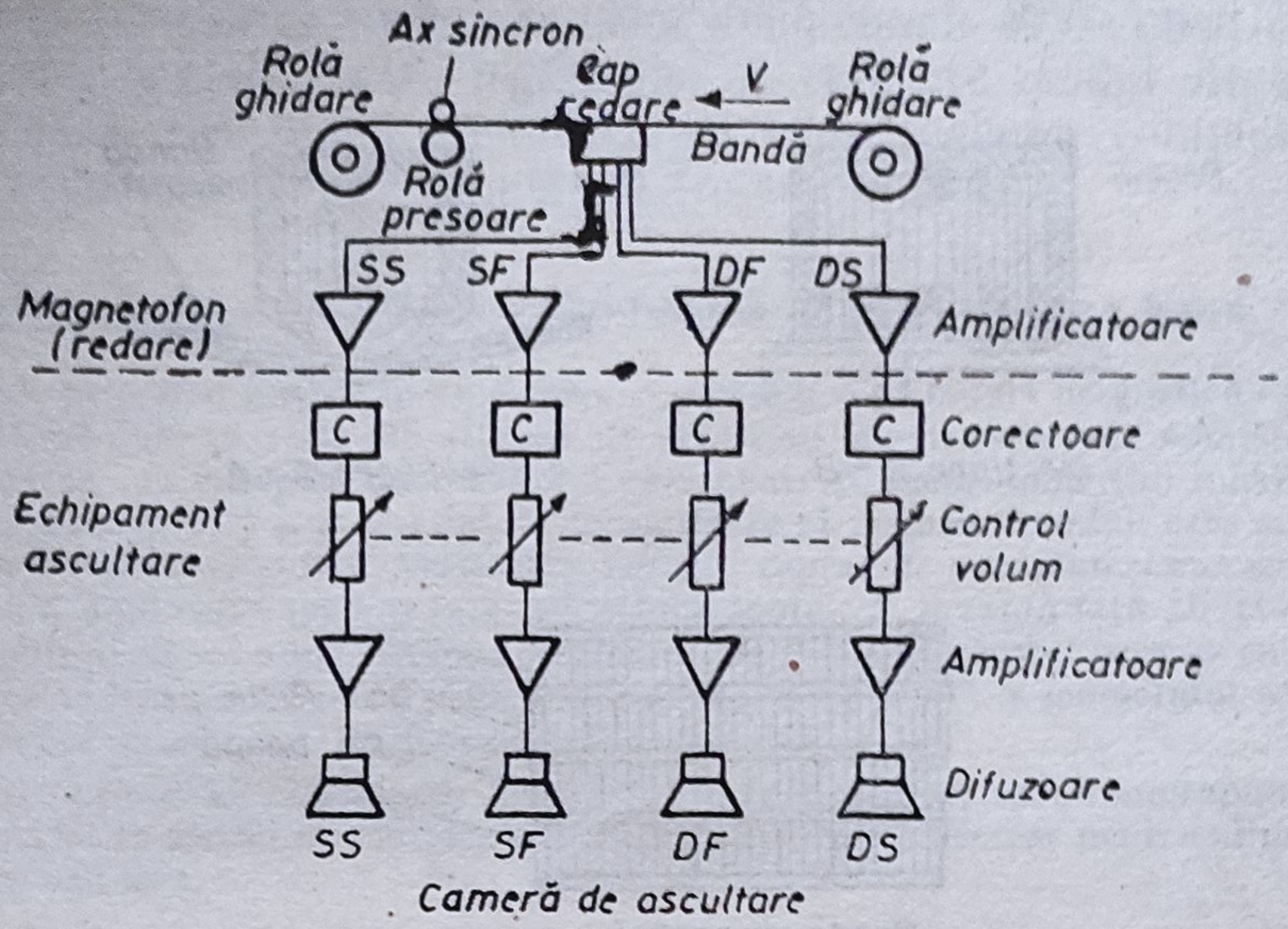


Fig. 9.17. Schema de principiu pentru redarea cuadrofonică a sunetului înregistrat pe bandă.

9.4. ELEMENTE COMPONENTE ALE INSTALAȚIILOR DE ÎNREGISTRARE ȘI REDARE A SUNETULUI PE BANDĂ MAGNETICĂ

9.4.1. BANDA MAGNETICĂ

Banda magnetică utilizată la magnetofoane se realizează dintr-un suport de masă plastică pe care s-a depus un strat subțire format din pulbere feromagnetică înglobată într-un liant. Suprafața benzii care vine în contact cu capetele magnetofonului — numită suprafață activă — trebuie să fie cît mai netedă ; în caz contrar se produce o creștere a zgomotului benzii și o înrăutățire a caracteristicii ei de frecvență.

După grosimea lor, benzile de magnetofon se împart în mai multe categorii. Benzi *normale* a căror grosime este de aproximativ 55 μ, benzi cu *durată lungă* a căror grosime este de aproximativ 35 μ și benzi cu *durată dublă* cu grosimea de aproximativ 25 μ.

Proprietăți magnetice. Proprietățile magnetice mai importante sînt inducția remanentă B_r și forța coercitivă H_c. Prin mărirea inducției remanente B_r se mărește forța electromotoare indusă în capul de redare, ceea ce permite să se mărească dinamica înregistrării. Din acest punct de vedere este bine ca benzile să aibă inducție remanentă maximă cît mai mare. Se poate demonstra că pe o bandă magnetică frecvențele înalte se înregistrează cu atît mai bine cu cît este mai mare raportul dintre forța coercitivă H_c și inducția remanentă B_r, deoarece cu atît este mai mică demagnetizarea. De aceea, o bandă bună este caracterizată nu numai prin B_r mare ci și printr-un raport $\frac{H_c}{B_r}$ cît mai mare. Acest considerent limitează într-o oarecare măsură valorile lui B_r întîlnite în practică la benzi.

Într-adevăr, deoarece forța coercitivă nu are valori prea mari, (o bandă cu forța coercitivă ridicată necesită valori mari ale curentului de polarizare și ștergere, fapt care ar atrage după sine mărirea puterii oscilatorului de înaltă

frecvență), rezultă că nici B_r nu poate fi prea mare. La benzile existente astăzi inducția remanentă maximă are valori de 600—1000 Gs și o forță coercitivă de 200—400 Oe.

Proprietăți mecanice. O bandă este caracterizată din punct de vedere mecanic prin următoarele proprietăți :

— *lățimea benzii* : conform normelor are valoarea de 6,25 ± 0,05 mm ;

— *grosimea benzii* : poate varia între 20 și 60 μ. Benzile subțiri sînt mai flexibile și permit să se realizeze un contact mai bun între bandă și cap. Acest lucru este important, în special la magnetofoanele cu viteze mici de deplasare a benzii și care înregistrează pe mai multe piste.

— *rezistența la rupere* : arată valoarea forței la care se rupe banda cu lățimea de 6,25 mm. Valoarea de 2,5 kgf se consideră acceptabilă pentru benzile normale.

— *întinderea elastică* : este alungirea benzii — exprimată în procente — produsă atunci cînd banda cu lungimea de 1 m este supusă unei întinderi cu o forță dată, la o temperatură de 20°C ; întinderea elastică depinde de grosimea benzii. La benzile normale întinderea are valori în jurul lui 1%, fiind mai mică la benzile mai subțiri.

— *întinderea plastică* : este alungirea benzii — exprimată în procente — care se constată la un minut după ce banda nu a mai fost supusă unei întinderi în condițiile de mai sus. Depinde, ca și întinderea elastică, de grosimea benzii. La benzile normale are valori în jurul lui 0,05%.

Proprietățile electroacustice. În timp ce proprietățile mecanice ale benzilor sînt exprimate prin valori ale unor mărimi fizice care se pot măsura direct, proprietățile electroacustice ale benzilor se pot determina numai pe magnetofon, iar caracteristicile acestuia influențează rezultatele. Pentru a elimina influența magnetofonului, proprietățile electroacustice nu se exprimă în mărimi absolute ci prin mărimi relative raportate la o anumită bandă de etalonare. Dacă se ia ca etalon aceeași bandă cînd se prezintă proprietățile electroacustice ale diferitelor benzi, rezultă valori care se pot compara între ele.

Proprietățile electroacustice principale ale benzilor sînt următoarele :

— *polarizarea* pentru sensibilitatea maximă (i_{if}), care arată mărimea curentului de polarizare de înaltă frecvență pentru care se obține, cu un semnal avînd frecvența de 1 kHz, tensiunea maximă la ieșire. Se raportează la mărimea curentului corespunzător, obținut cu banda etalon.

— *fluxul la modulație completă* arată mărimea tensiunii obținute la redarea unui semnal de 1 kHz pentru care se produce un factor de distorsiuni de armonica a treia egal cu 3% (la 38,1 cm/s) și respectiv 5% (la 19 cm/s și 9,5 cm/s). Valoarea obținută se raportează la valoarea corespunzătoare unui semnal înregistrat care creează un flux de 200 mMx pentru 38,1 cm/s, respectiv de 160 mMx pentru 19 cm/s și 9,5 cm/s.

— *sensibilitatea* se determină la 1 kHz pentru 38,1 cm/s și 19 cm/s, respectiv la 333 Hz pentru 9,5 cm/s. Este mărimea tensiunii de ieșire raportată la tensiunea benzii etalon obținută pentru același curent audio în capul de înregistrare.

— *caracteristica de frecvență* arată care este variația fluxului creat pe bandă de un cîmp magnetic alternativ, de amplitudine constantă și frecvență variabilă. Deoarece forma caracteristicii de frecvență a benzilor este cunoscută (determinată de efectul de demagnetizare), este suficientă o singură

valoare de pe această caracteristică pentru a compara benzile între ele din acest punct de vedere. În mod obișnuit dintre tensiunile de ieșire ale benzii de încercat corespunzătoare frecvențelor 10 kHz și 1 kHz (38,1 cm/s) respectiv 10 kHz și 333 Hz (19 cm/s și 9,5 cm/s). Se presupune că magnetofonul este astfel reglat încît cu banda etalon se obține o caracteristică de frecvență de 0 dB.

— *dinamica benzii* este o măsură a raportului dintre tensiunea corespunzătoare modulației complete maxime a benzii și tensiunea zgomotului de modulație ;

— *atenuarea de copiere* se măsoară numai la viteza de 38,1 cm/s și reprezintă raportul dintre tensiunea la ieșire a unui semnal de 1 kHz și tensiunea corespunzătoare care apare datorită efectului de copie pe o spiră vecină, după un timp de depozitare de 24 ore, la temperatura camerei.

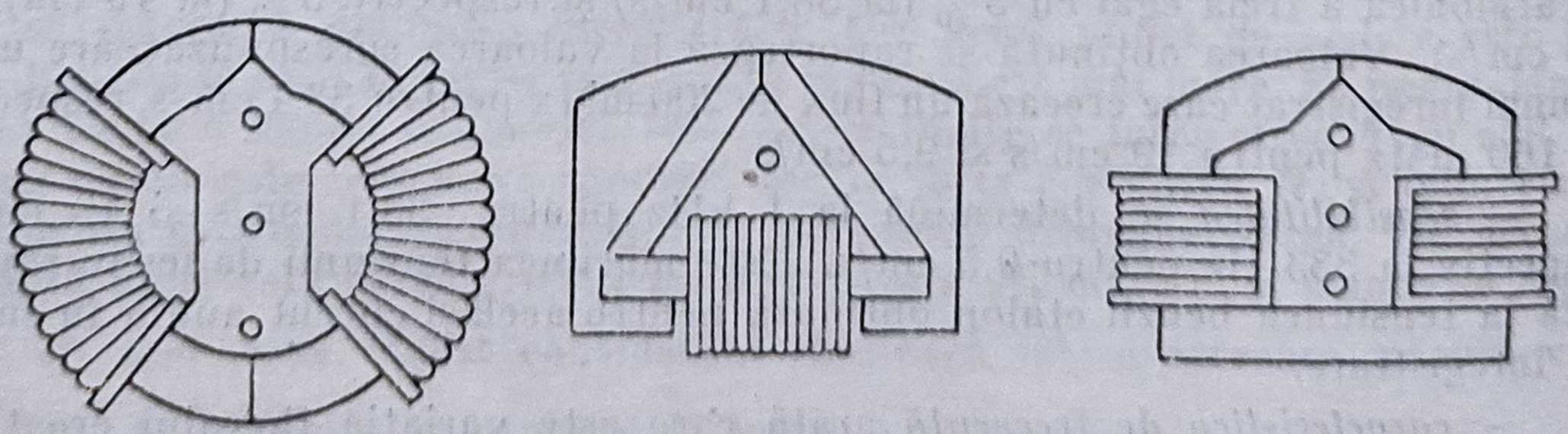
9.4.2. CAPETE MAGNETICE

Capetele magnetice sînt *transductoare* care se utilizează pentru transformarea oscilațiilor electrice în oscilații magnetice în vederea păstrării acestora din urmă pe bandă (capetele de înregistrare), pentru transformarea oscilațiilor magnetice păstrate pe bandă de oscilații electrice (capete de redare) și pentru reducerea la zero a energiei oscilațiilor de pe bandă (capete de ștergere).

După modul cum sînt folosite se împart în capete *speciale* și capete *combinate* (sau *universale*). Din prima grupă fac parte capetele care îndeplinesc o singură funcție, cum ar fi înregistrarea, redarea sau ștergerea. Aceste capete se întrebuințează în special la magnetofoanele profesionale.

Din a doua categorie fac parte capetele magnetice care îndeplinesc două funcții, anume înregistrare și redare. Capetele combinate se întrebuințează la magnetofoanele de amatori. Ținînd seama de felul cum se face înregistrarea pe bandă, se deosebesc capete pentru înregistrarea *pe o singură pistă* sau *pe mai multe piste*. După numărul de spire al înfășurării, capetele magnetice se împart în capete cu *impedanță mică* și *impedanță mare*. Ținînd seama de formă, cel mai răspîndit cap magnetic utilizat astăzi este capul *inelar* (fig. 9.18, *a*). În fig. 9.18, *b* și *c* sînt reprezentate alte forme de capete.

Capetele de formă inelară și dreptunghiulară, avînd înfășurările repartizate simetric, au avantajul că nivelul zgomotelor perturbatoare este mai mic, deoarece tensiunile induse de către un cîmp paralel în cele două înfășurări se anulează reciproc. Miezul capetelor magnetice se face din tole de material cu permeabilitate inițială mare (de ordinul a 20 000), cum sînt alia-



a b c

Fig. 9.18. Capete magnetice : *a)* formă inelară ; *b)* formă triunghiulară ; *c)* formă dreptunghiulară.

jele fier-nichel (permaloy, mumetal etc.). Grosimea tolelor din care se confecţionează capetele de magnetofon este de 0,05—0,2 mm, pentru ca pierderile prin curenţi turbionari la frecvenţele superioare să fie mici.

Întrefierul capetelor magnetice se umple cu o foiţă din material diamagnetic, în majoritatea cazurilor din aliaj cupru-beriliu. În ultimii ani s-au realizat capete magnetice cu miezuri de ferită la care pierderile prin curenţi turbionari sînt extrem de mici şi au foarte mare rezistenţă la uzură. Acest material prezintă un avantaj deosebit, în special pentru capul de ştergere, unde frecvenţa şi mărimea curentului sînt mari.

Prin utilizarea capetelor de ştergere din ferită s-a reuşit să se reducă puterea consumată de oscilatorul de înaltă frecvenţă de la 2—4 W la 0,1—0,2 W. Capetele magnetice pentru două piste au aceeaşi construcţie ca şi cele obişnuite, cu deosebirea că lăţimea miezului este mai mică.

Capetele pentru înregistrări pe patru piste se deosebesc de celelalte capete magnetice prin faptul că ele conţin de fapt, în acelaşi bloc, două transductoare cu înfăşurări separate. Înălţimea miezurilor este egală sau mai mică decît o pătrime din lăţimea benzii.

Capetele stereofonice pentru înregistrări pe două piste sînt identice cu cele pentru înregistri monofonice pe patru piste cu deosebirea că la cele stereofonice transductoarele lucrează simultan.

Capul de înregistrare. Este un transductor care creează cîmpul magnetic de audiofrecvenţă şi înaltă frecvenţă (de polarizare) pentru magnetizarea benzii. Dimensiunile miezului se aleg astfel încît să fie exclusă saturarea lui de către cîmpul de polarizare. În acest scop miezul capului de înregistrare are un întrefier posterior suplimentar, care în plus, contribuie şi la liniarizarea curbei care exprimă dependenţa inducţiei în cap de mărimea curentului de audiofrecvenţă. Lungimea acestui întrefier este de obicei de 0,1 pînă la 0,4 mm. Capul de înregistrare trebuie să aibă pierderi electrice cît mai mici, pentru că altfel s-ar micşora intensitatea cîmpului magnetic o dată cu creşterea frecvenţei curentului audio. Din acest motiv capetele de înregistrare se fac din tole subţiri de material magnetic (0,1—0,2 mm).

Coeficientul de proporţionalitate dintre cîmpul magnetic produs de capul de înregistrare şi curentul din înfăşurarea lui se numeşte de obicei *sensibilitatea capului de înregistrare* şi trebuie să fie cît mai mare. Impedanţa capului de înregistrare este practic determinată de inductanţa înfăşurării.

Capul de redare. Este un transductor care transformă magnetizarea variabilă a benzii într-un semnal electric corespunzător. Indicii de calitate ai canalului de înregistrare-redare la un magnetofon depind în mare măsură de proprietăţile capului de redare. De aceea, capul de redare trebuie să îndeplinească condiţii mult mai pretenţioase decît capul de înregistrare. Întrefierul capului de redare trebuie să fie foarte mic (5—10 μ) în special la viteze mici, pentru reducerea distorsiunilor de frecvenţă datorită lungimii finite a întrefierului. Capetele de redare se fac atît cu impedanţă mare cît şi cu impedanţă mică.

Avantajul capetelor cu impedanţă mare este obţinerea unor forţe electromotoare induse mai mari, la aceeaşi valoare a fluxului pe bandă. Capetele de impedanţă mică se folosesc în special la magnetofoanele profesionale unde între capete şi amplificatoarele magnetofonului există o distanţă relativ mare, iar legătura dintre acestea se face printr-un cablu care are o anumită capacitate proprie.

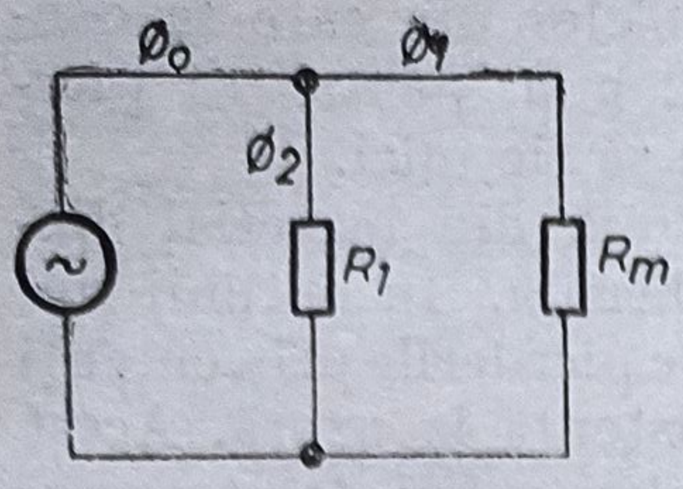


Fig. 9.19. Schema circuitului magnetic pentru capul de redare.

Prin *eficacitatea* unui cap de redare se înţelege tensiunea care apare la bornele lui, în gol, în timpul redării unei benzi magnetice înregistrată cu nivel maxim. Capul de redare poate fi considerat ca un generator de tensiune excitat de fluxul magnetic variabil creat de banda magnetică care trece prin faţa lui. Fluxul magnetic Φ_0 creat de banda magnetizată în miezul capului de redare se împarte în două fluxuri : fluxul Φ_1, care se închide prin înfăşurarea capului şi fluxul Φ_2 care se închide direct prin întrefierul de lucru. Pe baza acestei analize circuitul magnetic al capului se poate prezenta prin schema din fig. 9.19. Din această schemă rezultă că fluxul în miez are următoarea expresie :

$$\Phi = \frac{R_1}{R_1 + R_m} \Phi_0 = A\Phi_0,$$

în care A este coeficientul de şuntare, R_1 reluctanţa întrefierului, R_m reluctanţa miezului.

Coeficientul de şuntare depinde exclusiv de permeabilitatea materialului miezului şi de dimensiunile geometrice ale miezului. Această prezentare a capului de redare ne permite să ne explicăm faptul că pe măsura uzurii capului de redare eficacitatea lui creşte. Într-adevăr, uzura capului are ca urmare micşorarea suprafeţei transversale a întrefierului şi deci mărirea reluctanţei R_1.

Datele electrice ale înfăşurării capului de redare se aleg în funcţie de schema în care urmează să lucreze capul. Capetele de impedanţă mică au în general o inductanţă de maximum 50—100 mH, iar cele cu impedanţă mare, de maximum 2—3 H.

Capul de ştergere. Este un transductor care creează cîmpul de înaltă frecvenţă pentru ştergerea înregistrări anterioare. Deoarece prin înfăşurarea capului de ştergere trece un curent mare de înaltă frecvenţă, pentru miez se alege un material magnetic cu pierderi mici prin histerezis şi curenţi turbionari. În consecinţă, miezul se face din tole subţiri (0,05—01 mm) de material magnetic cu inducţie de saturaţie şi rezistenţă specifică mari, sau se presează din ferită. Capul de ştergere nu are întrefier posterior, iar întrefierul de lucru are o lungime de 0,2—0,4 mm şi se umple cu o foiţă de aliaj cupru-beriliu. Capetele de ştergere se fac cu impedanţă mare sau mică şi se conectează la ieşirea oscilatorului de înaltă frecvenţă, formînd de cele mai multe ori, împreună cu restul elementelor din montaj un circuit rezonant pe frecvenţa curentului de ştergere. Prin utilizarea capetelor de ştergere cu două întrefieruri se îmbunătăţeşte calitatea ştergerii.

Ecranarea capetelor. Capetele de înregistrare şi redare se ecranează atent pentru a elimina acţiunea cîmpurilor magnetice perturbatoare produse de motoare, transformatoarele şi electromagneţii magnetofonului. Capul de redare este cel mai sensibil la acţiunea cîmpurilor perturbatoare, deoarece tensiunea indusă de fluxul de pe bandă are valori foarte mici. Ecranele se realizează din tablă de permaloy sau mumetal cu grosimea de 1—3 mm. La capetele de redare şi combinate se utilizează de regulă două ecrane, în timp ce la capetele de înregistrare numai unul.

9.4.3. MECANISMUL DE ANTRENARE A BENZII

De schema și de modul de executare a mecanismului de antrenare a benzii depind calitatea înregistrărilor efectuate cu un magnetofon, simplitatea exploatării și siguranța în funcționare. Dacă mecanismul de antrenare a benzii nu este executat cu suficientă precizie, în timpul înregistrării și redării apar distorsiuni neliniare, distorsiuni de frecvență și zgomote care nu pot fi compensate în nici un fel.

Gradul de precizie care se cere la executarea mecanismului de antrenare a benzii depinde de performanțele impuse magnetofonului a cărui parte componentă urmează să fie. Din acest punct de vedere va trebui să deosebim două categorii principale de magnetofoane : magnetofoane profesionale și magnetofoane de amatori.

Magnetofoanele *profesionale* trebuie să asigure în general performanțe mai ridicate decît magnetofoanele de amatori. Cerințele care se impun mecanismului de antrenare sînt următoarele :

— antrenarea benzii, prin fața capetelor, cu viteză constantă ;

— asigurarea unei tensiuni constante în bandă pentru a se realiza un contact bun și uniform între aceasta și capete ;

— posibilitatea de antrenare rapidă a benzii în ambele sensuri. Viteza în timpul antrenării rapide este de 10—20 ori mai mare decît viteza de antrenare în timpul înregistrării și redării (vom denumi de aici înainte antrenarea în timpul înregistării și redării *antrenare normală*). Antrenarea rapidă în sens invers este necesară pentru ca după înregistrare sau redare banda magnetică să fie înfășurată ca în situația inițială. Dacă se urmărește redarea unei anumite porțiuni a benzii înregistrate, căutarei ei se face utilizînd antrenarea rapidă în sens direct. Lipsa acestei posibilități ar duce la micșorarea operativității lucrului cu magnetofonul.

— posibilitatea de oprire (frînare) rapidă a benzii atît la antrenarea normală cît și la antrenarea rapidă. Oprirea trebuie făcută fără ca banda să formeze bucle și fără ca să apară unele tensiuni în bandă mai mari decît o anumită valoare admisibilă. Pentru benzile cu durată lungă forța de frînare este de aproximativ 700 g, iar pentru benzile cu durată normală, 1 000 g.

— siguranța în funcționare ;

— simplitatea comenzilor ;

— să lucreze fără zgomot ;

— să aibă greutate și dimensiuni cît mai mici.

În continuare se va prezenta schema cinematică generală a unui magnetofon (fig. 9.20) și părțile principale ale mecanismului de antrenare, valabile în principiu pentru orice aparat, fie mono fie stereo. Ruloul cu bandă se așază pe suportul din stînga (*1*), care se poate învîrti. În timpul antrenării normale banda magnetică se desfășoară de pe ruloul din stînga (*2*, pe care îl vom numi rulou debitor), ajunge la rola de amortizare *3*, la capetele magnetice *4*, trece printre axul de antrenare *5* și rola presoare *6*, ocolește rola de ghidaj *7* și ajunge la ruloul din dreapta *8* (ruloul receptor).

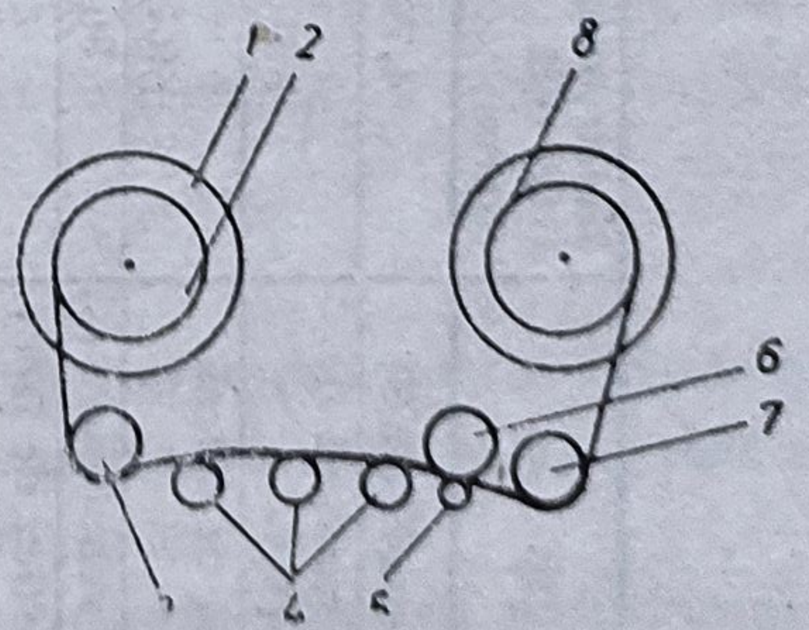


Fig. 9.20. Schema cinematică generală a mecanismului de antrenare a benzii.

Tabelul 9.1

Radiocasetofoane și magnetofoane stereo

Tip	Electronica RCS 002 Stereo	Electronica RC 2320 Stereo	Rally 2341 Stereo	Electronica Deck Stereo M.T. 3220	Rostov 105 S Stereo (U.R.S.S.)	Kashtan (U.R.S.S).
Viteza benzii (cm/s)	4,76	4,76	4,76	4,76	19,05; 9,53	19,05; 9,53
Deviația maximă de viteză (%)	±3	±3	±3	±1,5	—	—
Fluctuația de viteză (%)	±0,25	±0,25	±0,4	±0,2	±0,09 ±0,15	±0,14 ±0,25
Timp de rebobinare (s)	90	120	190	—	—	—
Caracteristica de frecv. la redare (Hz)	80—12 500	80—10 000	80—10 000	63—12 000 63—12 500	30—22 000 40—16 000	40—18 000 40—12 500
Caracteristica de frecv. înregistrare (Hz)	80—10 000	80—10 000	80—10 000	63—11 000 63—12 500	30—22 000 40—16 000	40—18 000 40—12 500
Distorsiuni armonice (%)	5	10	10	4	1 <	3
Diafonia între canale (dB)	20	23	20	—	—	—
Raport semnal/zgomot (dB)	35/40	35/40	45	55	63	54
Semnal la mufa de intrare (mVef)	300	300	—	0,3/50	0,2	0,2
Putere la ieșire/impedanță (W/Ω)	2×2,5/4 Ω	2×2/4 Ω	2×4/30 Ω	Ue = 0,5 V	2×15	2×8/4 Ω
Game de unde	UL; UM; US; UUS1; UUS2	UM; US; UUS	UL; UM; UUS	—	—	—
Sensibilitatea pe fiecare gamă (V)	3; 2'; 200; 25; 25	1,5; 180; 25	180; 50; 5	—	—	—
Tensiune de alimentare (V/Hz)	220/50 (12 V cc)	220/50	12 V/1,4 A	220/50	220/50	220/50
Puterea absorbită (VA)	—	—	18	15	180	90
Dimensiuni (mm)	460×260×150	—	180×200×50	409×120×225	510×417×196	409×44×196
Greutatea (kg)	6	—	—	5	21,5	12

Antrenarea benzii cu viteză constantă este asigurată de axul de antrenare şi rola presoare, care este presată pe ax de către un resort sau un electromagnet.

Axul antrenează rola presoare care, prin fricţiune, antrenează la rîndul său banda. În cazul de faţă există trei capete: de ştergere, de înregistrare şi redare. Ruloul din dreapta este fixat pe un suport care se învîrteşte şi înfăşoară banda care vine dinspre axul de antrenare. Suportul trebuie să se învîrtească cu o astfel de viteză încît să se evite întinderea exagerată a benzii sau formarea de bucle.

După numărul de motoare utilizate, mecanismele de antrenare a benzii se împart în mecanisme cu trei, două sau un motor. Mecanismele cu două motoare se întîlnesc foarte rar, în practică fiind folosite cele *cu trei motoare*, pentru magnetofoanele profesionale, şi cele *cu un motor*, pentru magnetofoanele de amatori.

În tabelul 9.1 sînt prezentate cîteva tipuri de radiocasetofoane şi magnetofoane stereo.

9.5. ÎNREGISTRAREA MAGNETICĂ DIGITALĂ A SEMNALULUI AUDIO

9.5.1. PROBLEME DE BAZĂ

La acest tip de înregistrare magnetică informaţia se înmagazinează sub formă discretă, în sistemul binar de numeraţie. Dacă se atribuie în mod convenţional stării de magnetizare pozitivă valoare 1, iar stării de magnetizare negativă valoarea 0, atunci fiecare porţiune elementară a suprafeţei purtătorului de informaţie va reprezenta un element de memorie cu 2 stări, 1 sau 0.

Stările de magnetizare pozitivă sau negativă se realizează aplicînd capului de înregistrare impulsuri de curent de o polaritate sau alta. Prin urmare, înregistrarea şi redarea informaţiei la înregistrarea magnetică digitală nu este altceva decît înregistrarea şi redarea impulsurilor.

Deoarece amplitudinea semnalului de intrare este constantă şi nu poartă nici-o informaţie, nu este necesară o dependenţă liniară între amplitudinile semnalului de intrare şi de ieşire.

La înregistrarea magnetică digitală, un factor de primă imporanţă este *densitatea de informaţie*, D_i, înmagazinată pe suprafaţa a purtătorului, exprimată în biţi/mm^2 sau biţi/inch^2:

$$D_i = d_i p,$$

unde D_i e densitatea de informaţie pe unitatea de lungime a pistei (biţi/mm sau d_i — biţi pe inch), p — numărul pistelor pe unitatea de lungime, măsurat pe o direcţie perpendiculară pe direcţia de mişcare relativă.

Obţinerea unei densităţi de informaţie D_i ridicate implică valori mari pentru d_i şi p. Densitatea d_i este limitată de influenţa reciprocă a cîmpurilor create de porţiunile învecinate ale purtătorului de informaţie.

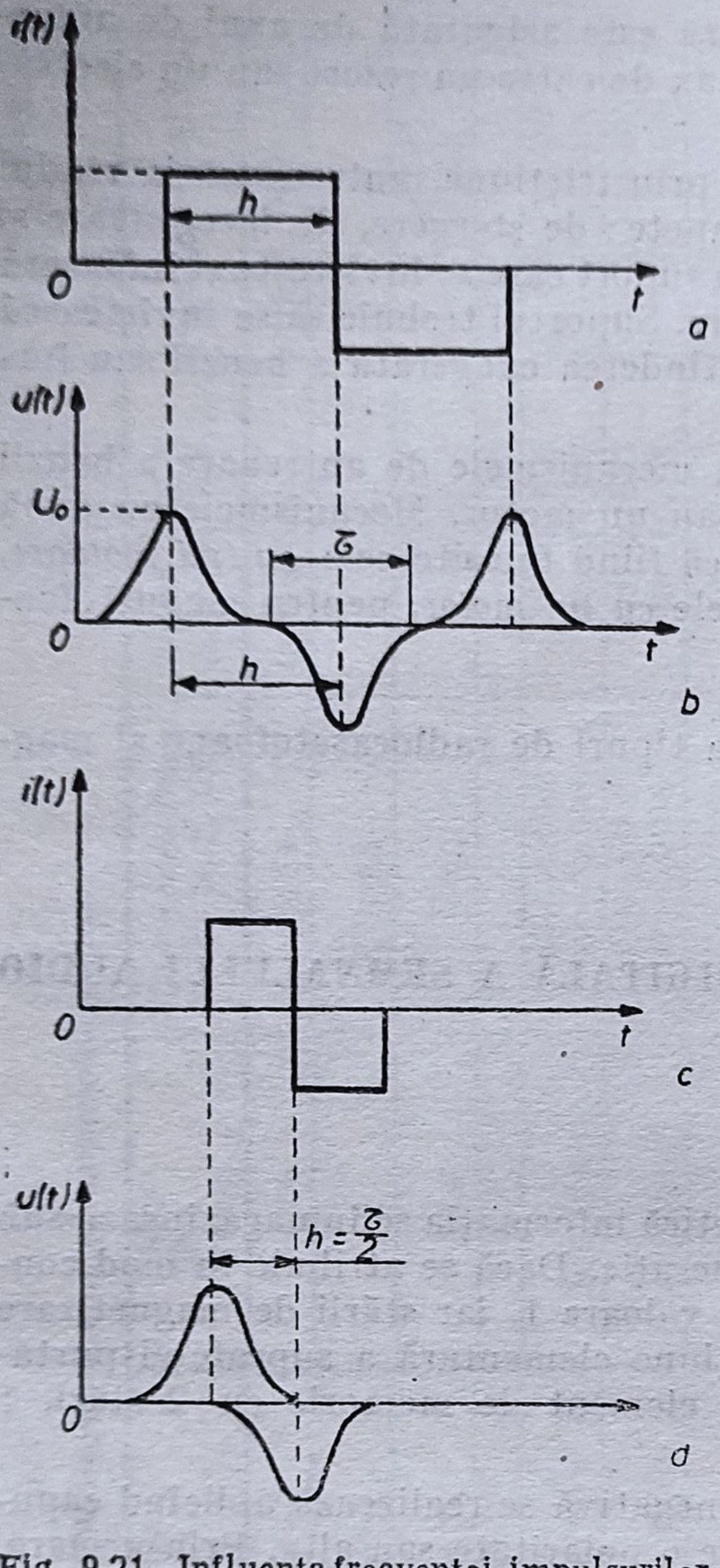


Fig. 9.21. Influenţa frecvenţei impulsurilor înregistrate asupra tensiunii de ieşire: *a*) curentul de înregistrare; *b*) tensiunea de ieşire în cazul influenţei nule; *c*) curentul de înregistrare în situaţia $h = \frac{\tau}{2}$; *d*) tensiunea de ieşire în cazul $h = \frac{\tau}{2}$.

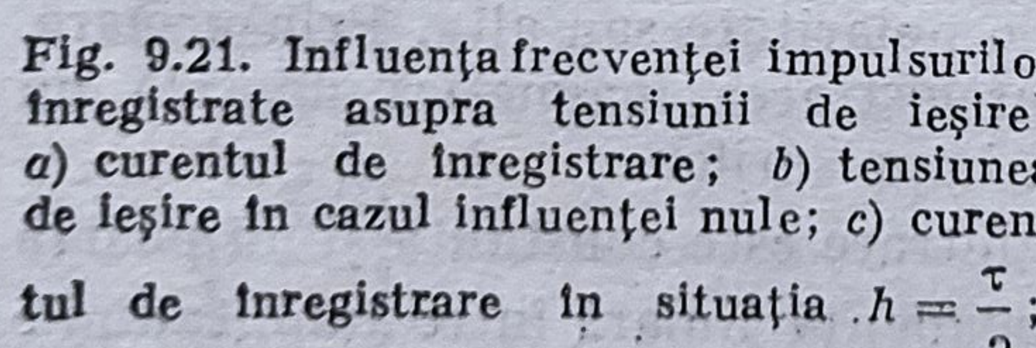


Fig. 9.22. Variaţia amplitudinii U_0 în funcţie de densitatea de informaţie d_i.

În fig. 9.21 este reprezentată influenţa *frecvenţei* impulsurilor înregistrate asupra *tensiunii de ieşire*: $i(t)$ reprezintă curentul aplicat capului de înregistrare; $u(t)$ = tensiunea de ieşire corespunzătoare; h = timpul scurs între două schimbări de polaritate a curentului, sau „lungimea celulei de bit" (*cell length*); τ = lăţimea unui impuls de tensiune; U_0 = amplitudinea maximă a impulsurilor de tensiune.

Între mărimea h şi densitatea d_i există relaţia evidentă

$$d_{imax} = \frac{1}{h}.$$

Dacă frecvenţa impulsurilor $i(t)$ creşte, se constată că amplitudinea maximă a impulsurilor de ieşire rămîne constantă pînă cînd $h \geqslant \frac{\tau}{2}$. Pentru $h < \frac{\tau}{2}$ amplitudinea impulsurilor devine mai mică deoarece impulsurile adiacente (fig. 9.21) se scad unele din altele. Cu alte cuvinte cînd densitatea de informaţii pe unitatea de lungime atinge valoarea $d_i = \frac{2}{\tau}$ începe pe scăderea amplitudinii impulsurilor de ieşire.

În fig. 9.22 se prezintă variaţia amplitudinii U_0 în funcţie de densitatea de informaţie d_i. Porţiunea căzătoare a curbei depinde în mare măsură de forma impulsurilor de ieşire. Prin urmare, durata τ a impulsurilor de ieşire este factorul limitator pentru creşterea densităţii de informaţie.

Metodele principale pentru micşorarea duratei τ constau în:

— apropierea cît mai mare a capetelor magnetice de purtătorul de informaţie;

— micşorarea lungimii întrefierului;

— adoptarea unor metode de înregistrare care să permită separarea corectă a semnalelor de ieşire chiar în cazul unor influenţe importante ale impulsurilor învecinate de pe purtătorul de informaţie;

— elaborarea unor noi tipuri de purtători de informaţie (benzi magnetice) cu caracterisitici magnetice superioare.

Pentru a calcula ordinul de mărime al densităţii de informaţie necesară pentru înregistrarea magnetică digitală a semnalului de audio-frecvenţă, vom considera următorul exemplu, aplicabil în cazul unui magnetofon digital. Fie :

— banda de frecvenţă (B) = 20 kHz,
— frecvenţa de eşantionare (f_s) = 50 Hkz,
— lungimea cuvîntului audio digital (n) = 16 biţi,
— viteza maximă a benzii (V) = 762 cm/s.

Viteza de transmisie a datelor audio (*BR-bit rate*) va fi :

$$BR_{date\ audio} = f_s = 50 \cdot 10^3 \cdot 16 = 800 \text{ kbit/s}$$

La înregistrare se adaugă date suplimentare (redundante), numite „overhead", pentru sincronizarea formatului de date, detecţia şi corecţia erorilor.

În acest caz viteza de transmisie a formatului de date se va dubla :

$$BR_{format\ date} = 1\,500 \text{ kbit/s} = 1{,}5 \text{ Mbit/s}$$

Densitatea necesară a informaţiei devine :

$$d_i = BR_{format\ date} = \frac{1{,}5 \text{ Mbit/s}}{76{,}2 \text{ cm/s}} = 19{,}6 \text{ kbit/cm}$$

Distanţa între biţii înregistraţi pe bandă va fi în acest caz de 0,5 μm. Prin comparaţie, la înregistrarea magnetică *analogică* lungimea de undă înregistrată pe bandă pentru un semnal sinusoidal de 20 kHz la viteza de 76,2 cm/s este de 26,5 μm, un raport de 75 la 1 !

Tehnologiile actuale nu permit însă o densitate de informaţie mai mare de 15 kbit/cm. Este necesar, prin urmare, ca fluxul de date să fie divizat pentru a fi înregistrat pe două piste. Aceasta conduce la o viteză a datelor pe pistă de cca. 255 kbiţi/cm şi o densitate a informaţiilor înregistrate pe o pistă de circa 9,8 kbit/cm.

9.5.2. TIPURI DE CODURI UTILIZATE LA ÎNREGISTRAREA DIGITALĂ A SEMNALELOR AUDIO

Codurile de date („*data codes*") sînt coduri utilizate pentru reprezentarea liniară a informaţiei audio ce urmează a fi înregistrată. Se foiosesc în legătură cu procesul de conversie analog-digital şi digital-analog.

Codurile detectoare şi corectoare de erori reprezintă redundanţa ce se adaugă codului de date în vederea detecţiei şi corecţiei erorilor ce pot apare în procesul de înregistrare. Aceste coduri sînt biţi suplimentari care sînt obţinuţi din chiar biţii de informaţie (biţii de date).

Codul de sincronizare este un grup special (*pattern*) de biţi care se utilizează periodic în timpul înregistrării, cu scopul de a stabili sau reconfirma începutul sau sfîrşitul unei grupe de bază de biţi. Cu alte cuvinte, codurile de sincronizare reprezintă „punctuaţia" într-un flux de informaţie digitală.

Codurile de adresă („*adress codes*") sînt coduri (uzual secvenţiale) utilizate pentru a distinge un grup de date de altul, sau pentru a specifica localizarea datelor. Utilizarea lor facilitează căutarea datelor. Un cod de adresă poate fi utilizat şi ca o formă de cod de timp (vezi mai jos) şi pentru sincronizarea în timp a două înregistări pentru reproducerea sincronă.

Codurile de identificare („*identification codes*") reprezintă o frecvenţă de biţi care este inclusă în fluxul de date pentru a semnaliza diferitele moduri de lucru ale sistemului. De exemplu, unele magnetofoane digitale pot lucra cu mai multe frecvenţe de *eşantioane* (v. cap. 8) şi în acest caz un cod de identificare va specifica automat cu ce frecvenţă trebuie lucrat cînd banda este redată. Dacă banda digitală utilizează preaccentuare, un astfel de cod va comuta automat circuitul de dezaccentuare cînd banda este redată.

Codurile de timp („*time codes*") indică timpul la care a fost făcută o anumită parte a înregistrării. Sînt destinate în principal sincronizării a două benzi pentru redarea lor sincronă. De asemenea folosesc la facilitarea editării electronice a benzilor. Un exemplu de astfel de cod îl constituie codul SMPTE de 80 de biţi adoptat de toate organizaţiile de radio şi televiziune. În mod uzual codul de timp este înscris pe o pistă separată şi nu este necesar să fie sincron cu fluxul de date.

Codurile de timp şi codurile de adresă sînt diferite : codul de timp ne indică cît de departe sîntem de începutul benzii în timp (ore, minute, secunde), în timp ce codul de adresă ne indică cît de departe sîntem de începutul benzii în ceea ce priveşte datele sau grupurile de date.

Codurile de modulaţie („*modulation codes*") — se mai numesc şi coduri de canal („*channel codes*") — se utilizează pentru înregistrarea (citirea) datelor pe un suport de informaţie sau pentru transmiterea lor pe un canal de comunicaţie. În general, ele constau din grupuri de impulsuri pozitive şi negative, generate şi transmise după o anumită regulă care face posibilă mărirea densităţii înregistrării şi în acelaşi timp asigură o anumită protecţie a datelor faţă de anumite limitări ale mediului faţă de mecanismul de citire.

9.5.3. FORMATUL DATELOR PE BANDĂ LA ÎNREGISTRAREA DIGITALĂ AUDIO

Formatul datelor pe bandă este un aspect foarte important al înregistrării magnetice digitale, care limitează funcţionarea şi performanţele sistemului de înregistrare şi este strîns legat de posibilităţile de interşanjabilitate a benzilor.

Principiul general de realizare a formatului pentru o pistă este ilustrat în fig. 9.23.

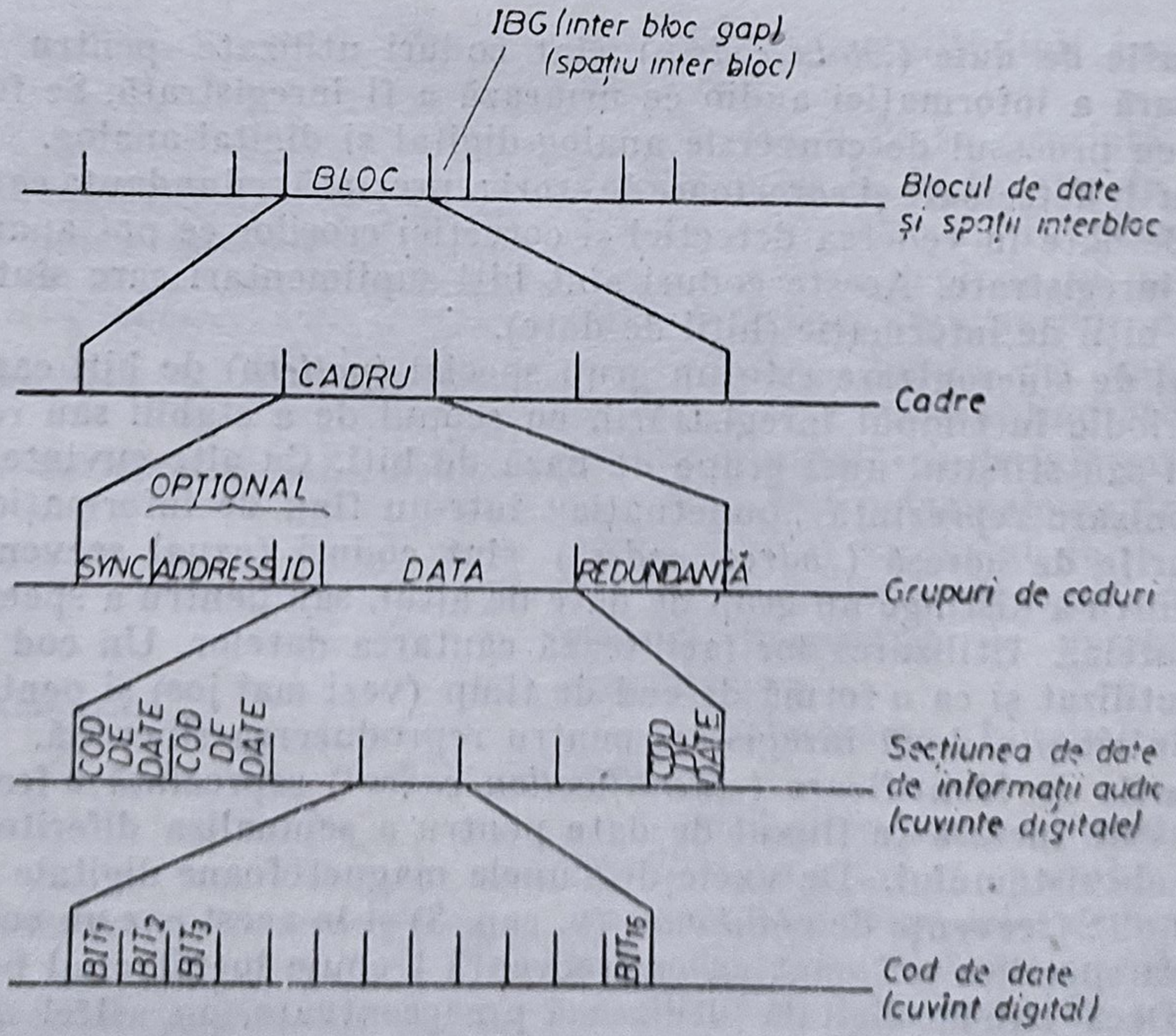


Fig. 9.23. Formatul datelor pe o pistă la înregistrarea magnetică digitală.

Datele conținute într-un flux digital de informație sînt înregistrate pe pistă sub forma unor „pachete" numite **blocuri de date** separate între ele prin **spații interbloc.**

Rolul acestor spații interbloc este de a permite înregistrarea unor porțiuni din bandă fără a distruge înregistrările adiacente. Ele sînt de asemenea utile la magnetofoanele multipistă pentru efectuarea operațiilor de inserție (*punching in*), și decupare (*punching out*).

Un bloc poate fi divizat în mai multe secțiuni, fiecare secțiune numindu-se **cadru.** Cadrele trebuie să fie adiacente, adică ultimul bit dintr-un cadru se va afla lîngă primul bit din cadrul următor pînă cînd apare un spațiu interbloc la sfîrșitul unui bloc.

Un cadru poate începe sau se poate termina cu un cod de sincronizare. Fiecare cadru va conține grupuri de coduri : de sincronizare, de adresă, de identificare și informație (coduri detectoare și corectare de erori).

Fiecare secțiune de date dintr-un cadru este împărțită în cuvinte sau **eșantioane** (coduri de date), fiecare conținînd 16 biți.

În rezumat criteriile generale care stau la baza elaborării unui format sînt :

— asigurarea posibilității de detecție și corecție a erorilor ce pot apare în cadrul procesului de înregistrare-redare ;

— prevederea unor posibilități de editare (manuală și electronică) a benzilor ;

— posibilitatea efectuării operațiilor de inserție și decupare pe bandă.

De asemenea, pentru asigurarea unei eficiențe ridicate a înregistării o importanță deosebită o are alegerea codului de modulație.

9.5.4. CORECȚIA ERORILOR

Unul dintre marile avantaje ale tehnologiei audio digitale este faptul că performanțele sînt decise de numărul de biți de cuantizare și de frecvența de eșantionare, și sînt independente de caracteristicile mediului de înregistrare atîta timp cît cuvintele eronate sînt corectate.

Evoluția tehnologiei audio digitale este legată de progresul tehnologiei de detecție și corecție a erorilor. Codurile detectoare și corectoare de erori au fost bine studiate de teoria codurilor, însă aplicarea lor la înregistrarea audio digitală nu este deloc simplă.

În legătură cu acest aspect au fost făcute mari eforturi în următoarele direcții :

1. Studierea criteriilor necesare realizării de sisteme cu siguranță mare în funcționare, pentru aplicații profesionale (de studio) sau larg consum.

2. Investigarea cauzelor și a posibilităților de apariție a erorilor pe benzi magnetice și pe discuri.

3. Elaborarea unor metode practice de implementare a codurilor corectoare.

4. Asigurarea unui compromis cît mai bun între performanțe și prețul de cost.

5. Proiectarea circuitelor.

Codurile de corectare de erori pot fi clasificate după cum urmează :

— coduri liniare sau neliniare ;
— coduri bloc sau coduri convoluționale ;
— coduri orientate pe cuvînt sau coduri orientate pe bit.

În aplicaţiile privind înregistrarea audio digitală au fost adoptate metode care combină proprietăţile codurilor liniare, ale codurile bloc şi ale codurilor orientate pe cuvînt. O excepţie o constituie metoda intercalării încrucişate, care utilizează un cod bloc într-o structură convoluţională şi se aplică formatului DASH (*Digital Audio Stationary Head*) şi formatului CD (*Compact Disc*).

În acest caz performanţele foarte bune ale structurii convoluţionale sînt completate cu utilizarea unui cod bloc cu o structură simplă.

Motivele utilizării codurilor orientate pe cuvînt sînt următoarele:

— prezintă proprietăţi mai bune de corecţie a pachetelor de erori;

— prin utilizarea memoriilor RAM se obţine o manipulare mai bună a memoriei;

— sistemele audio digitale manipulează cuvinte de cod cu lungime de 16 biţi pe eşantion iar circuitele (hardware) cu 8 biţi sau 16 biţi sînt mai comode pentru corecţia erorilor.

Erorile înregistrării digitale audio

Erorile se pot datora următorilor factori:

1. Defecte în mediul de înregistrare;
2. Praf, zgîrieturi şi amprente digitale produse în timpul utilizării;
3. Fluctuaţii sau deranjamente în mecanismele de înregistrare şi reproducere;
4. Instabilitate, fluctuaţie de frecvenţă;
5. Zgomot perturbator;
6. Interferenţe intersimbol.

În cazul benzilor magnetice au fost evidenţiate mai frecvent următoarele defecte:

— praf şi zgîrieturi în timpul fabricaţiei;

— defecte ale materialelor magnetice incluzînd urme de praf;

— neregularităţi ale marginii benzii sau ale lăţimii ei.

Punctul 3 se referă la: dereglări sau fluctuaţii la contactul cap-bandă. Se precizează faptul că mici vibraţii ale benzii sau capului de înregistrare duc la erori, deoarece lungimea de undă înregistrată este foarte mică.

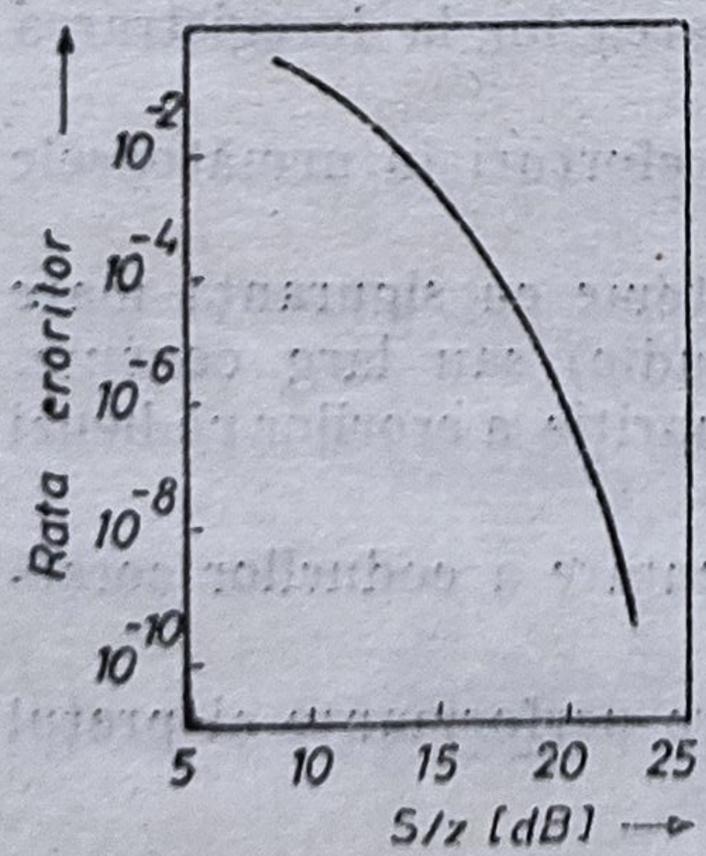


Fig. 9.24. Relaţia dintre rata erorilor şi raportul semnal/zgomot (semnal vîrf-vîrf iar zgomotul — valoare eficace).

Relaţia dintre rata erorilor şi raportul semnal/zgomot este prezentată în fig. 9.24, în legătură cu punctul 5.

Erorile pot apărea în două moduri:

— asupra unui bit, fără a exista corelaţie cu alte erori de bit — erori de bit *aleatoare* sau erori *independente*;

— în grupuri de biţi — *pachete de erori.*

Printre cauzele de erori descrise, cele de la punctele 1—3 corespund pachetelor lungi de erori, iar cele de la punctele 4—6, erorilor independente sau pachetelor scurte de erori.

Într-o înregistrare audio digitală pot apărea toate tipurile de erori, deci codurile corectoare trebuie să fie capabile să corecteze orice combinaţie între ele.

Măsurarea erorilor

Măsurarea caracteristicilor semnificative privind erorile, pentru un mediu de înregistrare audio digitală, nu este o sarcină uşoară. În trecut erorile au fost măsurate direct şi optimizarea schemelor corectoare de erori a fost făcută pe baza datelor statistice obţinute. Aproximarea a fost rezonabilă din punct de vedere teoretic, dar un sistem real, care funcţionează, nu poate totdeauna să reprezinte un sistem tipic. Mai mult, sistemul complet nu este în general disponibil în timpul proiectării sistemului.

În acest caz, caracteristica cea mai importantă care trebuie obţinută este *rezistenţa la accidente* precum deteriorarea benzii, amprentele digitale, zgîrieturile şi altele. Sistemul trebuie proiectat pentru a obţine o rată a erorilor de bloc mai bună de 10^{-4}, pentru a asigura menţinerea ratei erorilor la o valoare suficient de mică, după corecţii în condiţii normale.

Definirea *nivelului tolerabil* de accidente este cel mai important aspect în protejarea schemelor corectoare de erori ; el depinde în mare măsură de structura mediului de înregistrare.

Pentru estimarea *distribuţiei* erorilor s-a utilizat modelul statistic pentru erorile de cod. Acest model se poate aplica erorilor de bit, erorilor de cuvînt şi erorilor de bloc ; cu toate că distribuţia erorilor derivată din acest model nu coincide cu distribuţia erorilor obţinută prin măsurare, pentru înregistări audio digitale acest model a fost utilizat pentru evaluarea celor mai multe sisteme, datorită simplităţii sale.

Detecţia erorilor

Codul utilizat în mod curent pentru *detecţia* erorilor în cazul înregistrărilor audio digitale este codul CRCC (*cyclic redundancy check code*).

Prin adăugarea, la cei K biţi de date informaţionale, a unui cod CRCC de m biţi, se obţine un cuvînt de cod de n biţi ($n = K + m$), avînd deci o *redundanţă* egală cu $\frac{m}{n}$.

Posibilităţile de detecţie a erorilor pentru un astfel de cod sînt următoarele :

1. Un pachet de erori de lungime egală sau mai mică decît m se detectează întotdeauna ;

2. Probabilitatea de nedetectare a pachetelor de erori mai lungi de $(m + 1)$ biţi este egală cu 2^{-m} ;

3. Probabilitatea de nedetectare a pachetelor de erori de $(m + 1)$ biţi este egală cu 2^{-m+1} ;

4. Probabilitatea de nedetectare este de 2^{-m} în cazul în care pachetele de erori au aceeaşi structură ;

5. Erorile aleatoare de pînă la 3 biţi sînt detectate în mod sigur (depinzînd de alegerea polinoamelor generatoare) ;

Punctele 1—4 nu sînt afectate de lungimea cuvîntului de cod, dar punctul 5 este afectat într-o anumită măsură.

Problema care se pune este alegerea lungimii blocului de date. Conform celor arătate s-ar părea că este preferabil un bloc cu lungime mai mare. Întrucît, însă, în sistem pot apare în mod frecvent erori aleatoare sau pachete scurte de erori, rata erorilor de bloc pentru blocuri lungi se poate înrăutăţi în mod considerabil. Mai mult, chiar şi o eroare de 1 bit într-un bloc lung degradează întregul bloc.

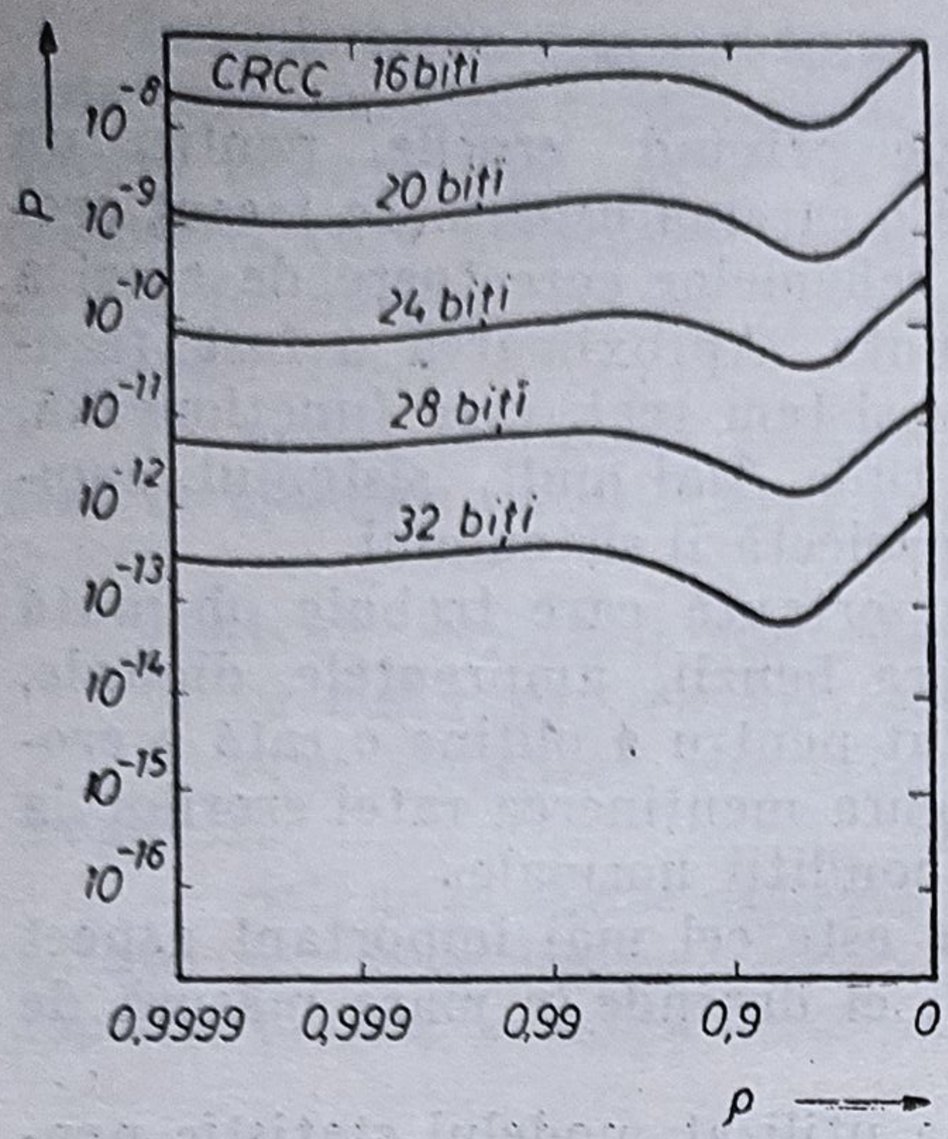


Fig. 9.25. Probabilitatea de nedetectare a codului CRCC : p — probabilitatea de nedetectare; ρ — coeficientul de corelaţie a erorilor de bit; lungimea blocului = 128 biţi; rata erorii de bit = 10^{-3}

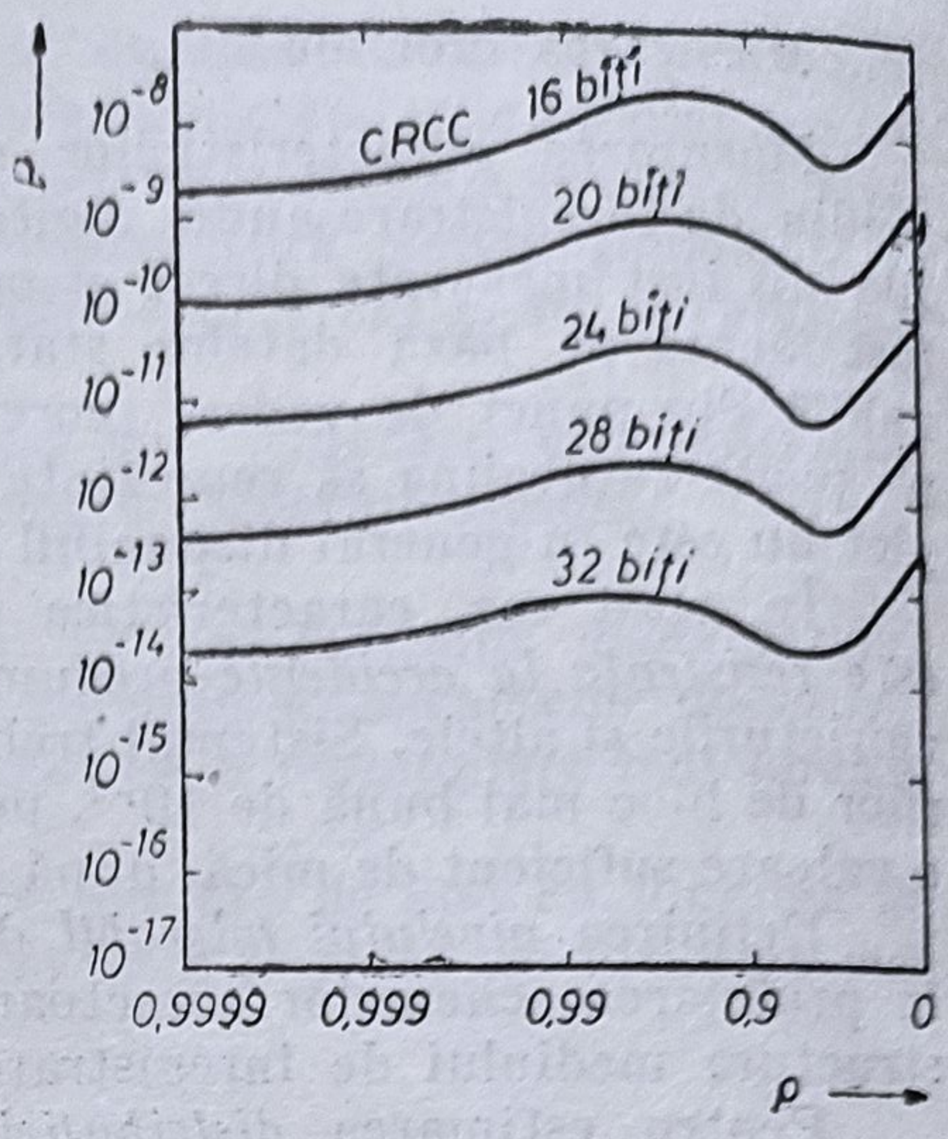


Fig. 9.26. Probabilitatea de nedetectare a codului CRCC : lungimea blocului = = 512 biţi; rata erorii de bit = 10^{-4}.

Soluţia o constituie stabilirea unui compromis între redundanţă şi coeficientul de siguranţă admis, ţinînd seama de faptul că acesta din urmă depinde de strategia de corecţie a erorilor după detecţia lor.

Pentru exemplificarea celor arătate, în fig. 9.25 şi 9.26 se prezintă modul de variaţie a probabilităţii de nedetectare a erorilor pentru un cod CRCC în funcţie de coeficientul de corelaţie al erorilor de bit, rata erorilor şi lungimea blocului fiind luate ca parametrii ai erorii.

Corecţia erorilor

Cel mai important aspect al proiectării schemelor de corecţie îl constituie stabilirea unor criterii privind performanţele codurilor, performanţe care sînt :

1. Probabilitatea de nedetectare a erorilor ;
2. Lungimea maximă a pachetelor de erori ce urmează a fi corectate ;
3. Lungimea maximă a pachetelor de erori ce urmează a fi *mascate* ;
4. Capacitatea de corecţie a erorilor aleatoare ;
5. Capacitatea de corecţie a unei combinaţii de erori aleatoare şi pachete de erori ;
6. Spaţiul de gardă ;
7. Propagarea erorilor ;
8. Dimensiunile blocului şi lungimea intervalului de constrîngere ;
9. Redundanţa codului ;
10. Posibilitatea de editare a benzilor ;
11. Întîrzierea pentru codare şi decodare ;
12. Costul şi complexitatea codorului şi decodorului.

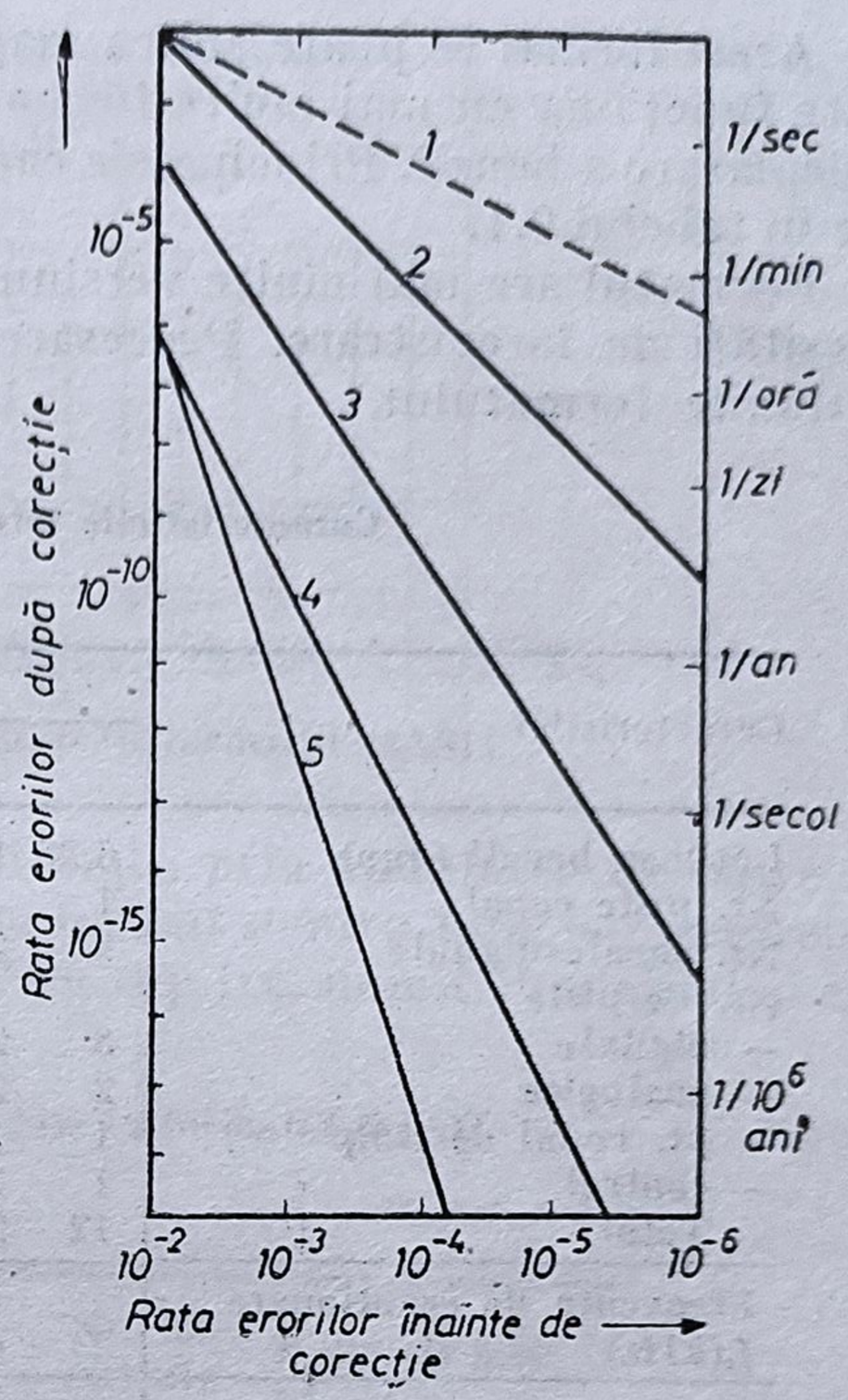


Fig. 9.27. Capacitatea de corecție a erorilor bloc aleatoare pentru diferite coduri: *1* — fără corecție; *2* — corecția unei erori de ștergere; *3* — corecția a două erori de ștergere; *4* — codul CIC (*cross interleave code*); *5* — codul ICIC (*improved cross interleave code*).

Pentru majoritatea sistemelor audio digitale sînt prevăzute și posibilitățile de „mascare" a erorilor care nu pot fi corectate. Cel mai important criteriu îl consituie probabilitatea de nedetectare, deoarece erorile nedetectate nu pot fi mascate și se manifestă ca un zgomot perturbator.

În fig. 9.27 sînt prezentate posibilitățile de corecție a erorilor bloc aleatoare pentru diferite coduri corectoare, pentru cazul cînd un bloc conține 288 biți.

S-a admis că lungimea blocului este suficientă, astfel încît chiar și pachetele de erori pot fi tratate ca erori-bloc aleatoare.

Inițial, evaluarea prezentată în fig. 9.27 a fost considerată satisfăcătoare, dar experiența practică în studiouri a arătat că valorile indicate sînt depășite datorită cauzelor arătate mai înainte.

Pentru stabilirea unui cod de corecție optim au fost necesare alte evaluări, care au luat în considerație posibilitățile de apariție simultană a tuturor tipurilor de erori.

9.5.5. FORMATUL DASH PENTRU ÎNREGISTRAREA ȘI REPRODUCEREA SEMNALELOR AUDIO DIGITALE

Formatul DASH (*Digital Audio Stationary Heads*), propus de firmele Sony, Studer, Matsushita și MCI, reprezintă un set de reguli pentru înregistrarea și redarea semnalelor audio digitale și a unei informații auxiliare, cu ajutorul magnetofoanelor digitale cu capete fixe, într-un mod care să asigure:

— înalta calitate a înregistării și redării;
— valori foarte mici ale erorilor;
— posibilitatea schimbului de benzi;
— siguranță maximă în exploatare.

Acest format se poate aplica magnetofoanelor cu 2 sau mai multe canale, poate funcţiona cu mai multe formate de eşantionare şi cu mai multe viteze de deplasare a benzii. Principalele caracteristici ale acestui format sînt prezentate în tabelul 9.1.

Formatul are mai multe versiuni, în scopul adaptării flexibile la diferite necesităţi de înregistrare. Procesarea semnalului este comună pentru toate versiunile formatului.

Caracteristicile formatului DASH

Tabelul 9.1

Caracteristici	Versiunea		
	Rapid	Mediu	Lent
Lăţimea benzii (mm)	6,35 12,7 25,4	6,35 12,7 25,4	6,35
Nr. piste canal	1	2	4
Nr. canale digitale	8 24 48	4 12 24	2
Nr. de piste :			
— digitale	8 24 48	8 24 48	2
— analogice	2 2 2	2 2 2	2
— pt. codul de timp	1 1 1	1 1 1	1
— control	1 1 1	1 1 1	1
— Total	12 28 52	12 28 52	12
Frecvenţa de eşantionare f_s(kHz)	48,0	44,1	32,1
Viteza benzii (cm/s) pentru :			
f_s = 48 kHz	76,20	38,10	19,05
f_s = 44,1 kHz	70,10	35,00	17,50
f_s = 32 kHz	50,80	24,40	12,70
Cuantizarea	16 bit — liniar (pt. canal)		
Codul de modulaţie	HDM-1 (*High Density Magnetic*)		
Corecţia erorilor	Codul CIC şi codul CRCC 33% (corecţia erorilor, detecţia şi sincronizarea)		
Lungimea unui bit (μm)	0,6612		
Lungimea de undă minimă înregistrată (μm)	1,9847		
Densitatea de informaţie (bit/cm)	15 100		

Pentru fiecare pistă este prevăzut un cod corector de erori independent, care se înregistrează împreună cu datele informaţionale (cuvinte audio digitale) aferente acestuia.

În cazul cînd un canal digital audio se înregistrează pe mai multe piste, se face o operaţie de divizare a canalului în subcanale care conţin cuvinte pare, respectiv impare.

Structura unui bloc de date poate fi urmărită în tabelul 9.2 şi fig. 9.28.

Formatul DASH permite un număr mare de implementări pentru înregistrarea-reproducerea audio digitală. Pînă în prezent nu s-a reuşit însă să se adopte o soluţie comună de către toţi toţi producătorii de magnetofoane cu toate eforturile depuse de Comitetul de Standardizare în domeniul tehnicii digitale din cadrul organizaţiei AES (*Audio Engineering Society*).

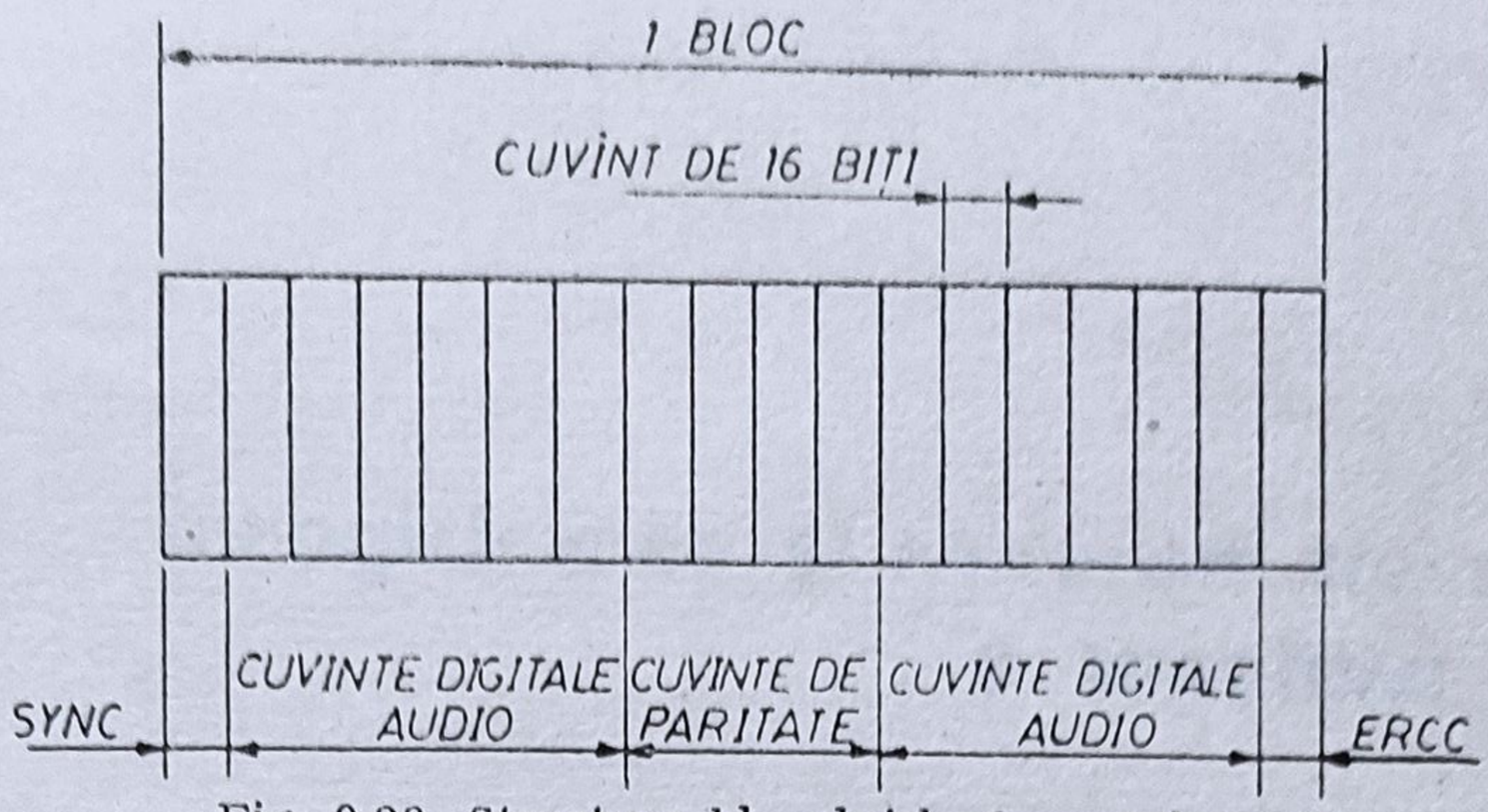


Fig. 9.28. Structura blocului la formatul DASH.

Problema pare să se complice și mai mult, prin anunțarea de către firmele Mitsubishi, AEG și Otari a unui nou format pentru înregistrarea/reproducerea digitală audio, destinat mașinilor cu cap fix, numit Prodigital și care nu este compatibil cu formatul DASH.

Structura unui unui bloc de date în formatul DASH

Tabelul 9.2

Conținut	Nr. de cuvinte	Nr. de biți
Sincronizare/control	1	16
Cuvinte de informație	12	192
Cuvinte de paritate pt. corecția erorilor	4	64
Cuvinte de verificare pt. detecția erorilor (CRCC)	1	16

Principiile și soluțiile tehnice discutate au stat la baza apariției și perfecționării, în ultimii ani, a aparatelor digitale cu bandă magnetică DAT *(Digital Audio Tape)*.

Capitolul 10

Înregistrarea şi redarea stereofonică a sunetuiui pe disc

10.1. DEZVOLTAREA ÎNREGISTRĂRII SUNETULUI PE DISC

La începutul secolului al XIX-lea, Thomas Young a reuşit să obţină „urme“ ale vibraţiilor sonore, înregistrate pe un cilindru acoperit cu negru de fum. În anul 1857, englezul L. E. Scott construieşte la Paris şi înregistrează la Academia de Ştiinţe a Franţei un aparat care putea capta sunete tot pe un cilindru acoperit cu negru de fum. Aparatul a fost denumit „phonautographe“ şi demonstra posibilitatea materializării grafice a undelor sonore captate printr-o membrană întinsă, dar nu putea încă reproduce sunetul înregistrat.

În anul 1857, la Viena, Czermak a reuşit să fotografieze corzile vocale în acţiune, iar în Anglia Charles Wheatstone, în urma unor experimente privind fenomenele acustice, inventează „kaleidofonul“. În acelaşi an, în SUA, Thomas Alva Edison construieşte un microfon cu cărbune. În anul 1877, poetul francez Charles Cros depune la Academia de Ştiinţe, într-un plic sigilat (datat aprilie 1877) rezultatul cercetărilor sale privind sunetul, precum şi procedeul său de înregistrare şi redare a sunetului. În acelaşi an, Edison obţine un brevet englez (nr. 2909 din 30 iulie 1877) pentru un aparat denumit fonograf care permitea atît înregistrarea cît şi redarea sunetului. Înregistrarea sunetului se făcea cu ajutorul unui ac, pe un cilindru acoperit cu un strat de cositor. În funcţie de vibraţiile unei membrane aflate în capătul unei pîlnii în care se vorbea, acul înregistra pe cilindrul care se învîrtea cu o viteză constantă, şanţuri mai mult sau mai puţin adînci.

Pornind de la acelaşi principiu de înregistrare, dar schimbînd procedeul, Emil Berliner inventează gramofonul şi obţine un brevet german (Deutsches Reichspatent 45048 din 8 nov. 1887).

Berliner înlocuieşte cilindrul lui Edison cu un disc, renunţînd la imprimarea în şanţuri de adîncimi diferite şi folosind mişcarea oscilatorie a acului în şanţurile care aveau o adîncime constantă. De pe discul înregistrat, folosind procedeul numit *galvanoplastie*, se obţinea o copie inversă, un „negativ“. Marea noutate constă în faptul că, prin presare, de pe discul negativ se puteau trage copii pozitiv pe discuri, creîndu-se astfel posibilitatea de a multiplica o înregistrare.

În primul deceniu al secolului al XX-lea şi în România se realizau înregistrări pe discuri cu ceară iar multiplicarea lor se făcea în Marea Britanie sau în Germania. S-au păstrat astfel, vocile lui C. Nottara, N. Leonard, Florica Cristoforeanu şi ale altor mari artişti ai vremii.

Timp de 40 ani plăcile de gramofon s-au realizat prin acest procedeu de înregistrare mecanică. În anul 1925 s-a trecut la înregistrarea electrică a discurilor. Curentul electric, care provenea din transformarea vibrațiilor sonore produse de un microfon, făcea să vibreze un electromagnet și să se pună în mișcare un ac care grava ondulații în șanțurile discului.

Viteza de înregistrare era tot de 78 turații pe minut, dar diametrul discului s-a mărit de la 25 la 30 cm, obținîndu-se o audiție de 4'50''—5'10''. Apoi s-a trecut la înregistări pe viteza de 45 turații pe minut și la reducerea diametrului discului la 17 cm, obținîndu-se astfel o durată a audiției între 6' și 9'30''.

Calitatea sunetului s-a îmbunătățit evident prin înregistrarea electrică a discurilor, dar materialul din care erau confecționate discurile nu le asigura o viață prealungă fiind casant.

Odată cu descoperirea și folosirea materialelor plastice, în anul 1945 s-a trecut la realizarea discurilor din policlorură de vinil, care a permis imprimarea unor șanțuri mici, mai dese decît pînă la data respectivă, și la o turație de 33 1/3. Aceste discuri denumite *microsion*, de la „microsillon" (în l. franceză — brazdă mică), conțin cca. 1 000 de șanțuri trasate la mai puțin de o zecime de milimetru.

Pe discuri se inscripționează diverse inițiale care au o anumită semnificație și anume : ST — disc stereofonic, STM — disc stereo compatibil, putînd fi ascultat atît pe picupuri stereo cît și mono. Dacă nu se află nici una din aceste inițiale înseamnă că discul este mono. Cifrele 16 sau 45, menționate în fața numărului de catalog, indică viteza 16 sau 45 (ture pe minut) la care trebuie ascultat discul. Dacă nu sînt indicate cifrele, înseamnă că discul trebuie ascultat la viteza de 33 1/3 ture pe minut.

De asemenea, pe disc este menționată și durata audiției, tot cu anumite inițiale, de exemplu LP (Long Play) înseamnă că discul are o durată de 40—50 minute.

Perfecționările aduse discurilor de-a lungul anilor au fost posibile datorită progreselor realizate în construcția aparatelor de redare. Picupul (de la engl. „to pick up" = a capta un mesaj) transformă în oscilații electrice vibrațiile mecanice gravate pe disc : vibrațiile acului, produse de oscilațiile șanțului, se transmit unei doze electromagnetice sau piezoelectrice aflate în capul brațului.

Aparatul a cunoscut neîncetate perfecționări : doza piezoelectrică a fost înlocuită cu o doză electromagnetică, s-a realizat pornirea și oprirea automată, acul metalic a fost înlocuit cu unul din safir sintetic cu o durată de cca. 100 ore de audiție, iar mai nou cu unul de diamant, care ajunge la cca. 1 000 ore pe discuri microsion și la care se reduce aproape complet fișiitul frecării acului pe disc.

S-au realizat mai multe tipuri de picupuri, grupate după diverse criterii : picupuri monofonice, stereofonice sau monostereofonice.

De asemenea, sînt picupuri cu amplificator și difuzor propriu care se pot folosi independent, sau picupuri care au numai sistemul de antrenare și citire a discului și care pentru a fi folosite se conectează la intrarea de joasă frecvență a unui aparat de radio, la o combină muzicală sau la un amplificator de audiofrecvență.

10.2. PRINCIPIUL ÎNREGISTRĂRII ŞI REDĂRII STEREOFONICE PE DISC

Formele moderne de înregistrare mecanică sînt caracterizate prin forma şi dimensiunile suportului, materialul din care este fabricat acesta, modul de scriere a semnalului şi mişcarea de deplasare a suportului faţă de scriptor. La început, caracteristicile semnalului erau săpate în adîncime. Adîncimea şanţului varia cu amplitudinea semnalului. După aceea s-a adoptat scrierea laterală, în care variaţiile semnalului se traduc prin abaterea şanţului de la linia mediană a spiralei perfecte trasate de scriptor în absenţa modulaţiei sonore. Această scriere este folosită şi în prezent pentru discurile monofonice. Pentru discurile stereofonice se foloseşte o scriere mixtă, al cărui rezultat este un şanţ cu adîncimea variabilă şi cu spirală modulată lateral.

Mişcarea scriptorului faţă de suport este, în absenţa semnalului sonor, o simplă deplasare de-a lungul unei spirale a discului. În timpul acestei mişcări acul gravor al scriptorului sapă şanţul care va servi la ghidajul acului lector, la redare. Pentru înregistrarea semnalului sonor acul gravor trebuie să se mişte şi într-un plan transversal faţă de acest şanţ de ghidaj. Mişcarea transversală este caracterizată prin amplitudinea deplasării şi amplitudinea vitezei de deplasare.

Înregistrarea stereofonică pe două canale cu un singur şanţ de ghidaj este posibilă dacă pe fiecare dintre cei doi pereţi ai şanţului, care au un unghi de deschidere de 90°, se înscrie informaţia unui singur canal. Aceasta se realizează prin deplasarea acului scriptor într-un plan care conţine axul discului pe două direcţii perpendiculare între ele şi care fac 45° cu suprafaţa pe care se înscrie fonograma.

Prin convenţie, peretele exterior (în sensul de la centru către periferia discului) înregistrează semnalul D, corespunzător canalului din dreapta, iar peretele interior semnalul S, corespunzător canalului din stînga. Modulaţia canalului din drepta face deci să se mişte acul scriptor pe generatoarea unui con al cărui vîrf se află pe acul discului, deasupra feţei lui superioare, pe cînd modulaţia canalului din stînga deplasează acul pe generatoarea unui con cu vîrful situat dedesubtul feţei pe care se face înregistrarea. În absenţa modulaţiei unui canal, peretele care-i corespunde are înfăţişarea unei suprafeţe conice continue, pe cînd peretele care primeşte modulaţia celuilalt canal este ondulat (fig. 10.1, *a*).

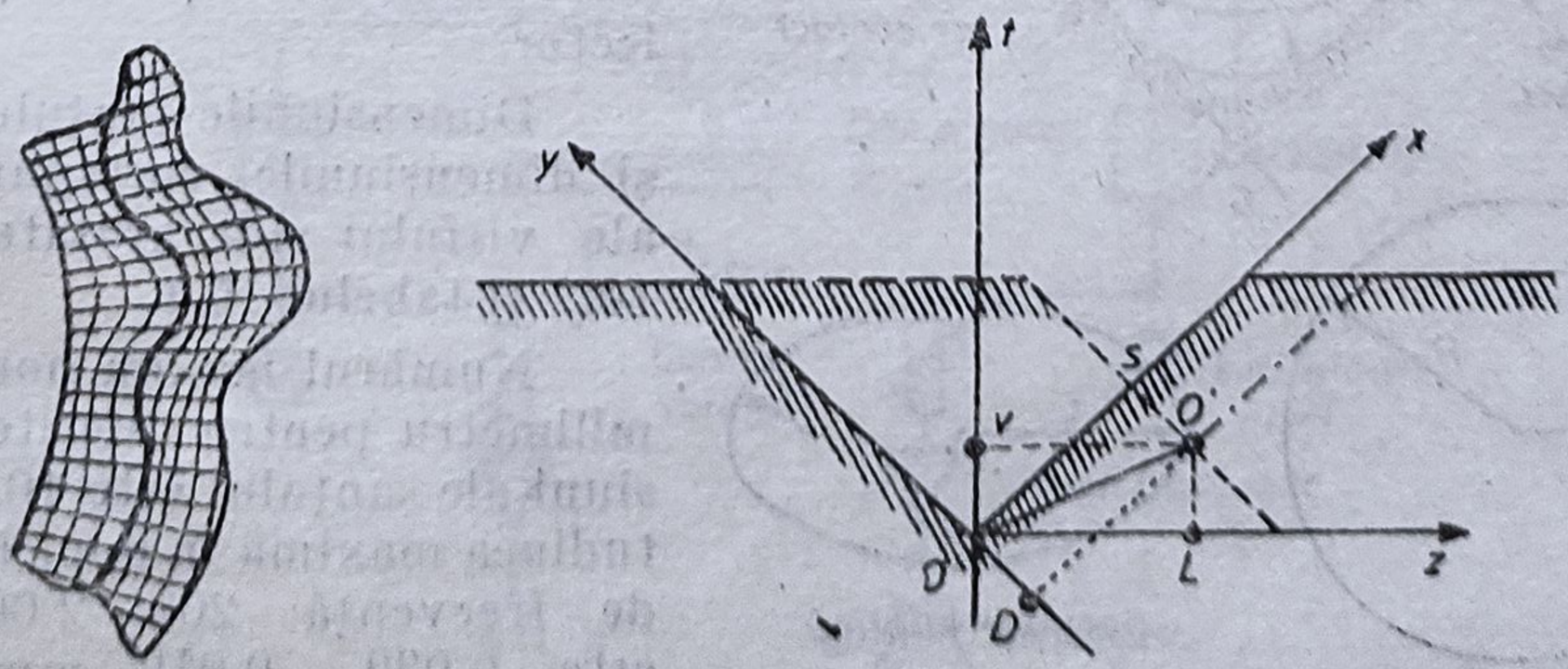


Fig. 10.1. Şanţul la discul stereofonic: *a*) forma şanţului; *b*) secţiune prin şanţ.

Deplasarea acului scriptor pe direcţiile $+45°/-45°$ poate fi realizată fie direct de-a lungul axelor x şi y (fig. 10.1, b) fie indirect, din combinarea deplasărilor normale şi radiale, faţă de disc, de-a lungul axelor l şi z. Aceasta se poate constata din fig. 10.1, b, în care se vede că sub acţiunea combinată a celor două semnale stereofonice vîrful acului s-a deplasat din poziţia de repaus O în poziţia de lucru O'. Vectorul $\overline{OO'}$ poate fi sau rezultanta vectorilor $\overline{OD}$ şi $\overline{OS}$, sau rezultanta vectorilor $\overline{OL}$ şi $\overline{OV}$. Dacă deplasările pe axele x şi y sînt proporţionale respectiv cu semnalul stînga $S(t)$ şi cu semnalul dreapta $D(t)$ înseamnă că

$$\overline{OS} \sim S(t) \text{ şi } \overline{OD} \sim -D(t).$$

Mărimea vectorului $\overline{OL}$ rezultă din însumarea proiecţiilor vectorilor $\overline{OS}$ şi $\overline{OD}$ pe axa z. Fiindcă aceşti doi vectori au aceiaşi înclinare faţă de $\overline{OL}$ (45°), rezultă că $\overline{OL}$ este proporţional cu suma lui $\overline{OS}$ şi $\overline{OD}$.

Tot astfel se deduce că vectorul $\overline{OV}$ este proporţional cu diferenţa $\overline{OS}$ şi $\overline{OD}$. Ţinîndu-se seama de convenţia de semne, rezultă că :

$$\overline{OL} \sim S(t) - D(t) \text{ şi } \overline{OV} \sim S(t) + D(t)$$

Dacă semnalele dreapta şi stînga sînt egale şi de semn contrar, adică $D(t) = -S(t)$, deplasarea pe verticală dispare, fiindcă $\overline{OV} = 0$.

Toate acestea arată că aceleaşi semnale stereofonice D şi S pot fi înregistrate fie direct, printr-un dispozitiv scriptor avînd deplasarea acului $+45°/-45°$, fie indirect, printr-un dispozitiv scriptor lateral vertical, alimentat prin intermediul unei reţele electrice care produce semnalele $S(t) + D(t)$ şi $S(t) - D(t)$.

Din cauza deplasării verticale a acului scriptor, lăţimea şanţului la suprafaţa discului variază în ritmul modulaţiei. Cînd lăţimea devine foarte mare, se poate întîmpla ca acul lector să ajungă pînă la fundul şanţului şi să piardă astfel tangenţa cu pereţii laterali.

Această situaţie provoacă mari prejudicii de calitate din cauza distorsiunilor şi a compresiei de dinamică, care se produc în special la acele foarte fine. În consecinţă lăţimea şanţului trebuie normată ca şi vîrful acului lector.

Dimensiunile şanţului stereo şi dimensiunile corespunzătoare ale vîrfului sînt arătate în fig. 10.2 şi tabelul 10.1.

Numărul maxim nominal pe milimetru pentru diferite dimensiuni ale şanţului este 10. Amplitudinea maximă în mm, în banda de frecvenţă 200—2 000 Hz, este 0,032 — 0,050 mm. Raza vîrfului, aşa cum se arată în fig. 10.2, este de 0,019 mm pentru reproducerea stereofonică. Un

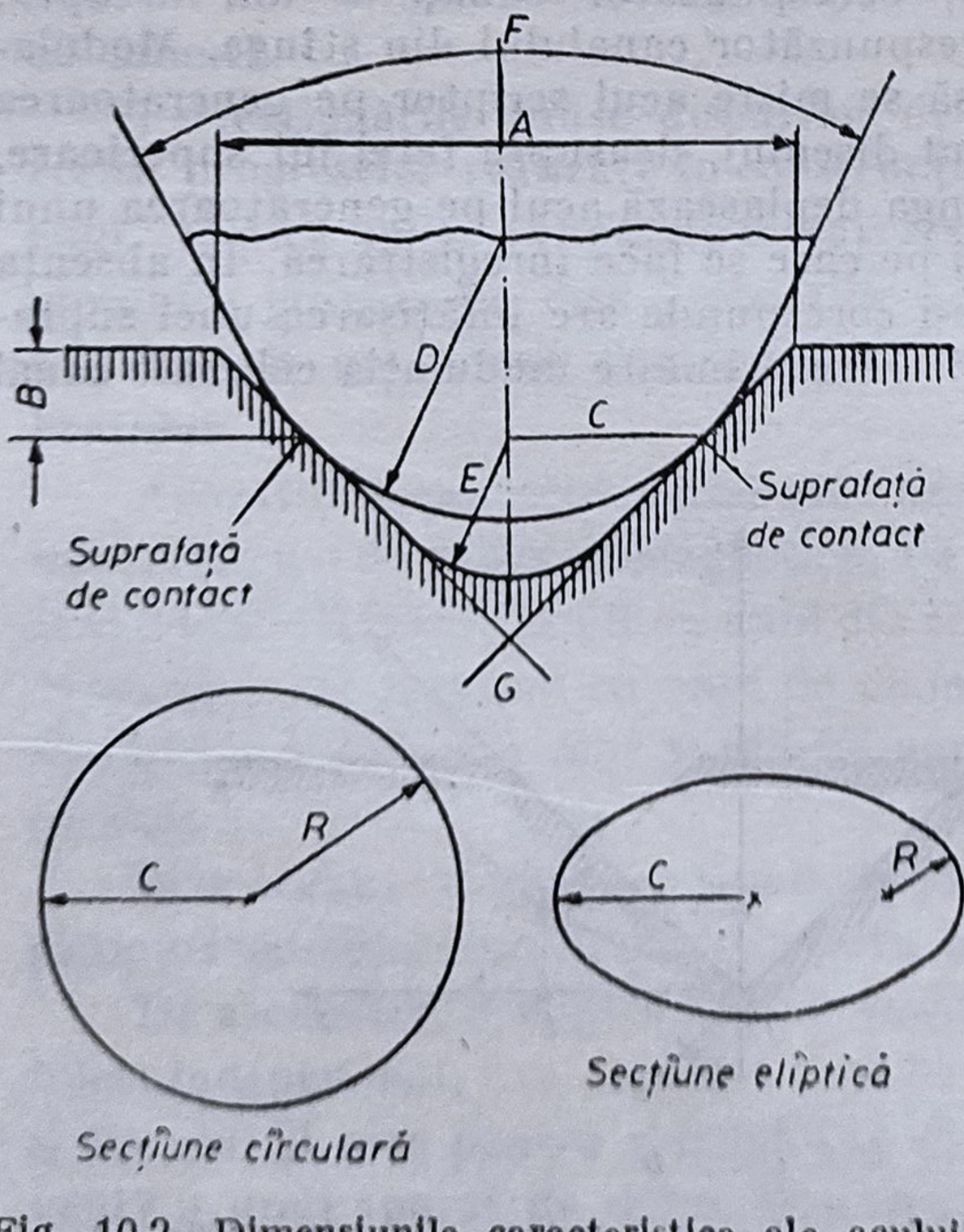


Fig. 10.2. Dimensiunile caracteristice ale acului şi ale şanţului.

vîrf cu secţiunea transversală eliptică, pentru reproducerea stereofonică, reprezentat în aceeaşi figură, are raza de 0,006 mm. Folosind o rază mai mică se reduc distorisunile neliniare datorită forţei de apăsare.

Materialul vîrfului este safir sau diamant.

Totuşi, cînd aria de contact a vîrfului cu discul este mai mică pentru vîrful eliptic, grosimea şanţului gravat pe disc va fi mai mare.

Tabelul 10.1

Dimensiuni	mm
A	0,063
B	0,012
C	0,012
D	0,019
E	0,006
F	45°
G	90°

Elementele componente ale schemei lanţului pentru înregistrarea stereofonică a sunetului pe disc se dau în fig. 10.3.

În situaţia înregistrării directe, semnalul captat de microfon este amplificat de un amplificator cu zgomot mic şi reglat la nivelul corespunzător de către un atenuator.

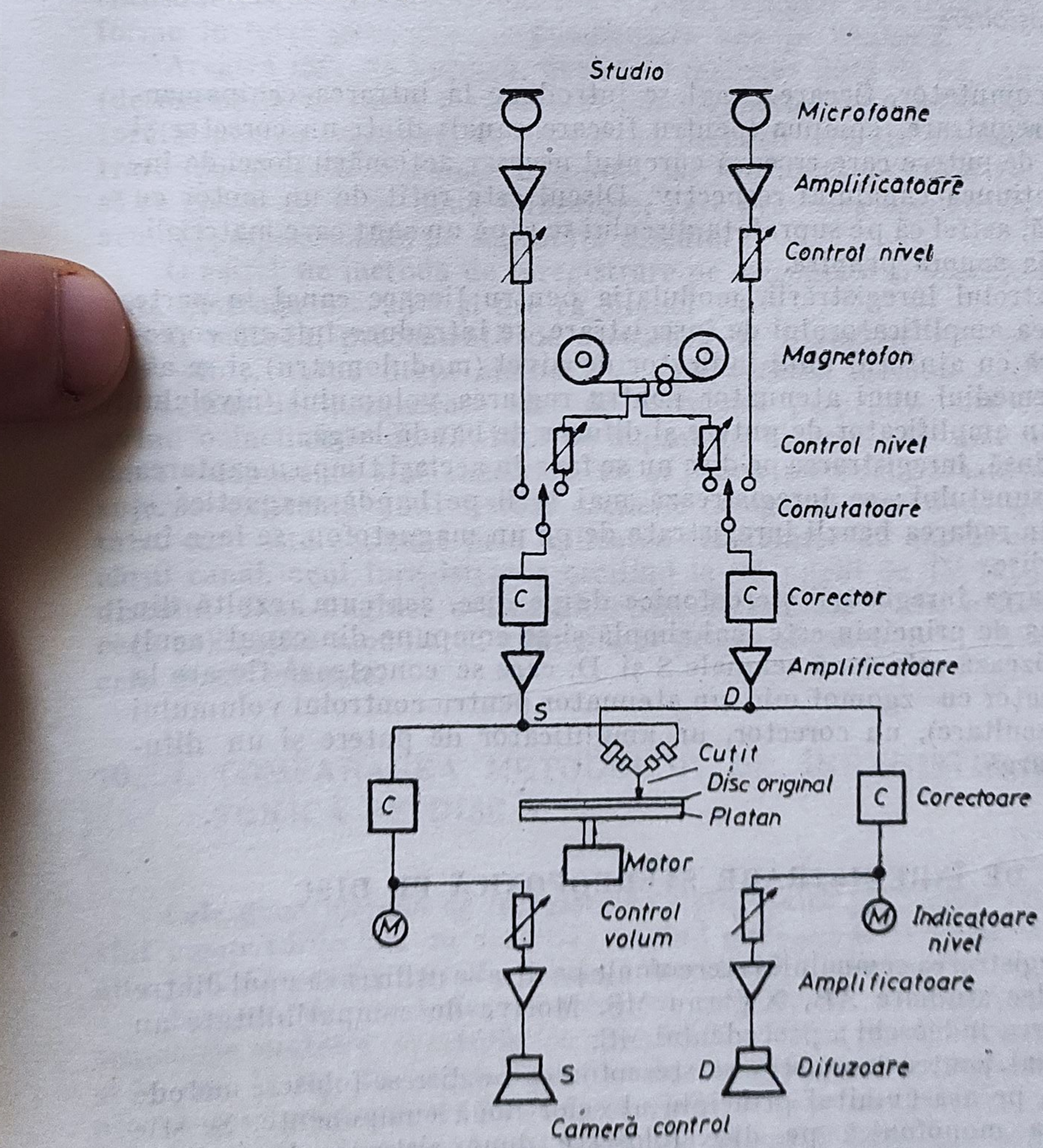


Fig. 10.3. Schema sistemului de înregistrare stereofonică pe pe disc.

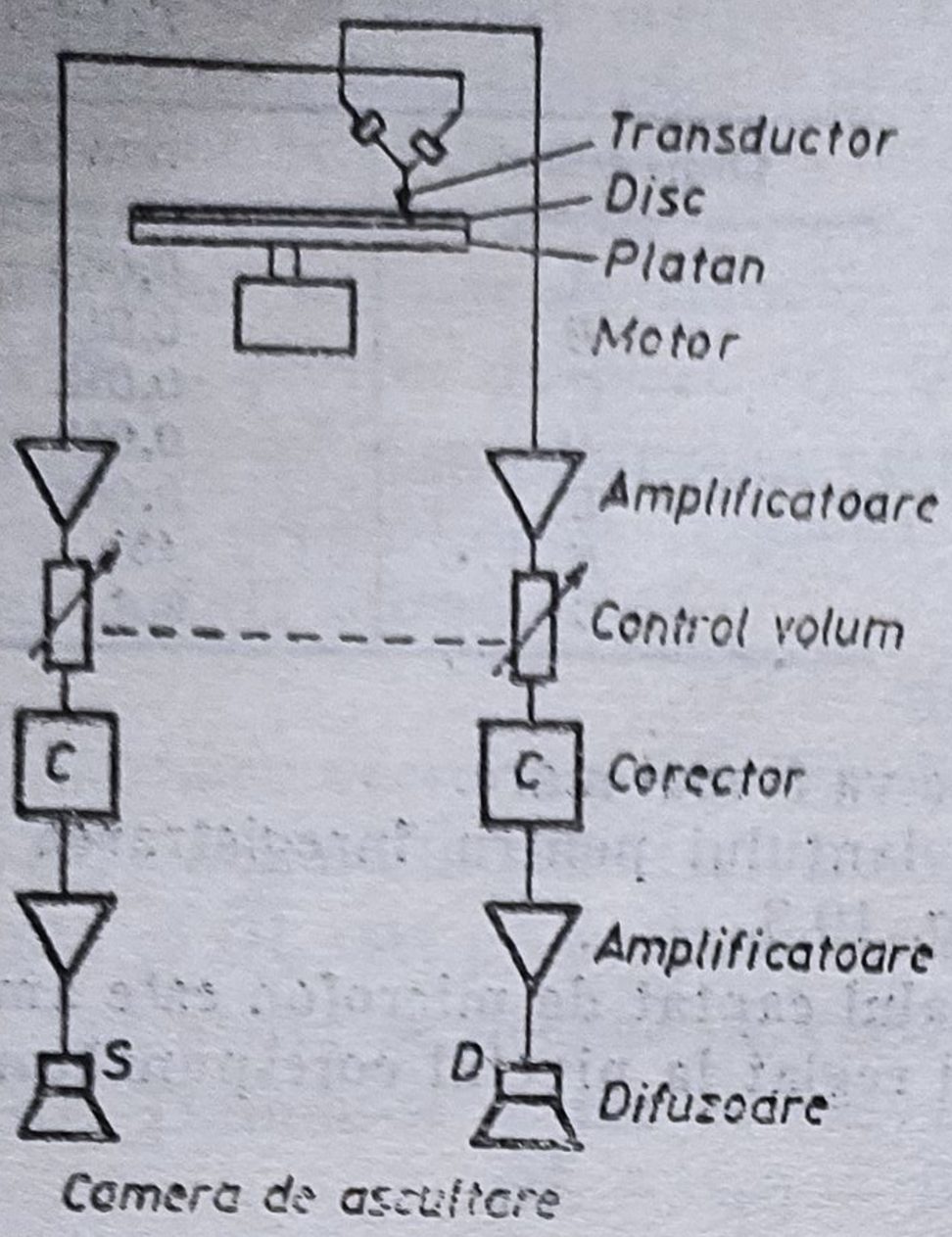


Fig. 10 4. Schema sistemului de reproducere a sunetului stereofonic înregistrat pe disc.

Printr-un comutator, fiecare canal se introduce la intrarea echipamentului pentru înregistrare, compus (pentru fiecare canal) dintr-un corector şi un amplificator de putere care creează curentul necesar acţionării dozei de înregistrare pe secţiunea canalului respectiv. Discul este rotit de un motor cu viteză constantă, astfel că pe suprafaţa discului se sapă un şanţ care materializează informaţia sonoră primită.

Pentru controlul înregistrării, modulaţia pentru fiecare canal în parte se ia de la ieşirea amplificatorului de înregistrare, se introduce într-un corector, se măsoară cu ajutorul unui indicator de nivel (modulometru) şi se ascultă prin intermediul unui atenuator pentru reglarea volumului (nivelului de ascultare), un amplificator de putere şi difuzor de bandă largă.

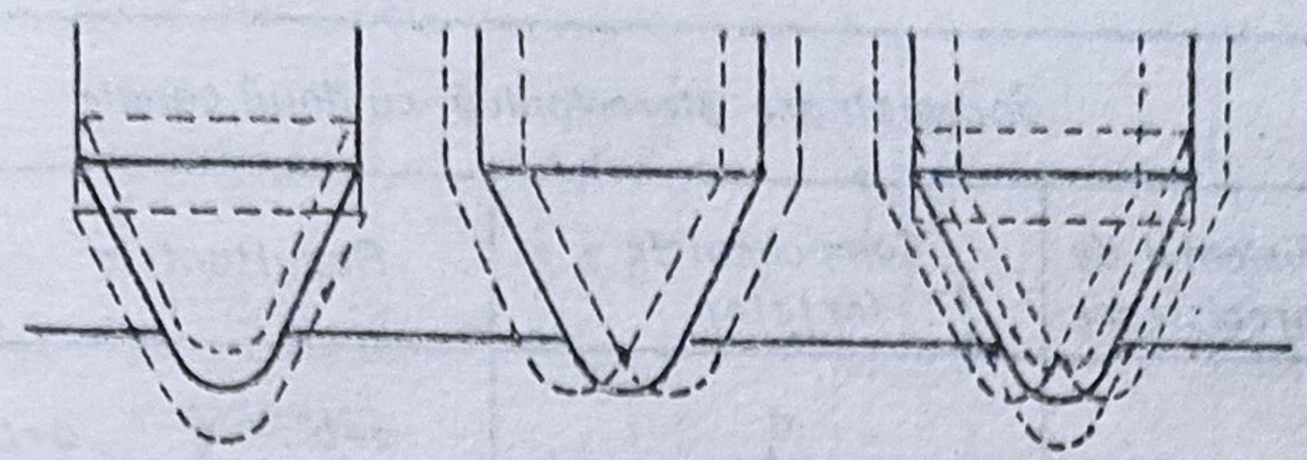
De regulă, însă, înregistrarea pe disc nu se face în acelaşi timp cu captarea şi prelucrarea sunetului; se înregistrează mai întîi pe bandă magnetică şi după aceea, prin redarea benzii înregistrate de pe un magnetofon, se face înregistrarea pe disc.

Pentru redarea înregistării stereofonice de pe disc, aşa cum rezultă din fig. 10.4, schema de principiu este mai simplă şi se compune din capul (acul) lector care furnizează cele două semnale S şi D, care se conectează fiecare la cîte un amplificator cu zgomot mic, un atenuator pentru controlul volumului (nivelului de ascultare), un corector, un amplificator de putere şi un difuzor de bandă largă.

10.3. METODE DE ÎNREGISTRARE STEREOFONICĂ PE DISC

Pentru înregistrarea semnalului stereofonic pe disc se utilizează unul dintre cele trei procedee studiate AB, XY sau MS. Motive de compatibilitate au condus la folosirea îndeosebi a procedeului MS.

În mod uzual, pentru înregistrarea stereofonică pe disc se folosesc metode care se bazează pe aşa-numitul principiu al celor două componente. Se ştie că înregistrarea monofonică pe disc foloseşte două sisteme. Unul, mai vechi, la care înregistrarea se face în adîncime (sistemul Edison, fig. 10.5, *a*) şi altul, modern, de înregistrare laterală (sistemul Blumlein, fig 10.5, *b*).



a b c

Fig. 10.5. Înregistrarea în adîncime, laterală şi combinată a discului.

În anul 1928 Blumlein a preconizat metoda de înregistrare stereofonică, care utiliza ambele sisteme arătate mai sus, unul fiind folosit pentru canalul drept şi celălalt pentru canalul stîng (fig. 10.5, *c*).

Pentru a realiza o asemenea înregistrare dublă, este necesar să se aplice transductorului pentru înregistrare două semnale electrice care să se transforme în forţe mecanice perpendiculare una pe cealaltă.

Această metodă implică, deci, ca tensiunea dată de un canal să se aplice (de exemplu, în cazul transductorului magnetic) pe o înfăşurare a transductorului pentru înregistrare, provocînd oscilaţii laterale ale acului de înregistrare (paralele cu suprafaţa discului), iar tensiunea produsă de celălalt canal să se aplice pe o a doua înfăşurare, care provoacă oscilaţii în adîncime ale acului (perpendicular pe suprafaţa discului).

O astfel de metodă de înregistrare pe orizontală şi verticală a fost denumită „metoda 0°—90°“ şi are ca simbol „+“.

O metodă, preconizată de asemenea de Blumlein, este aceea denumită „45°—45°“, avînd drept simbol „×“. La această metodă cele două mişcări ale acului de înregistrare sînt de asemenea perpendiculare una pe cealaltă avînd o înclinaţie de 45° faţă de suprafaţa discului. De aici rezultă că cele două componente sînt simetrice. Ca şi prima metodă, aceasta din urmă presupune existenţa unui sistem oscilant ortogonal, cu două grade de libertate, care este acţionat prin aplicarea tensiunilor de audiofrecvenţă ale fiecărui canal, acul înregistrator oscilînd la un unghi de 45° faţă de suprafaţa discului. Deci unghiul dintre direcţiile de deplasare ale acului este de 90°, ceea ce implică modularea unui singur perete al şanţului în lipsa unuia dintre cele două semnale.

10.3.1. COMPARAREA METODELOR DE ÎNREGISTRARE STEREOFONICĂ PE DISC

Cele două metode de înregistrare stereofonică pe disc, 0°—90° şi 45°—45°, sînt compatibile una cu cealaltă, oricînd putîndu-se trece de la o metodă la alta fără dificultăţi mari în privinţa instalaţiilor necesare.

Într-adevăr, trebuie remarcat că este destul de uşor de a transforma semnalele electrice caracteristice metodei 0°—90° în acelea ale metodei 45°—45° şi invers. În fig. 10.6 sînt reprezentate vectorial forţele care acţionează asupra acului înregistrator, putîndu-se observa echivalenţa celor două sisteme.

Astfel, componentele *a* şi *b* ale sistemului 0°—90° dau prin adunare în cazul unor amplitudini egale componenta α a sistemului 45°—45°, iar prin scădere componenta β.

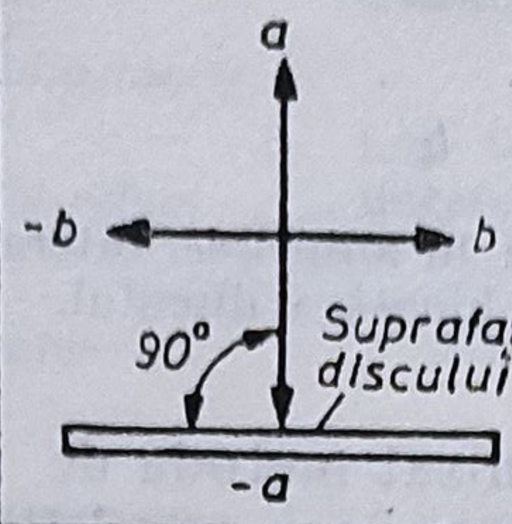
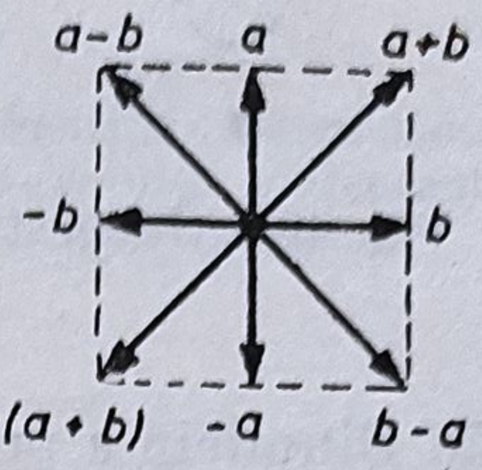
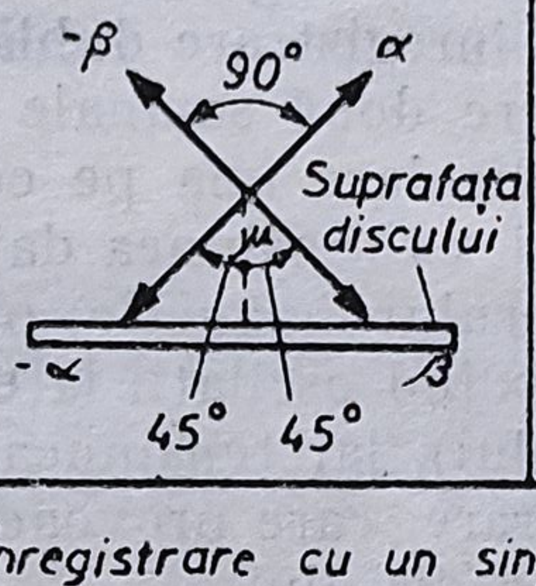
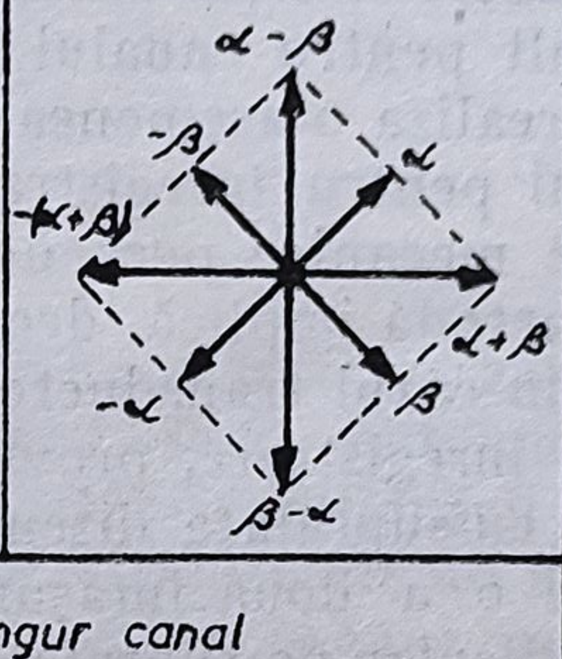
<table>
<tr><td colspan="3">Înregistrare stereofonică cu două canale</td></tr>
<tr><td>Sistemul de înregistrare</td><td>Componentele forțelor</td><td>Rezultantele</td></tr>
<tr><td>0° - 90°</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>45° - 45°</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">Înregistrare cu un singur canal</td></tr>
<tr><td>laterală</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>în adîncime</td><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

Fig. 10.6. Reprezentarea vectorială a forțelor care acționează asupra transductorului înregistrator la discurile stereofonice.

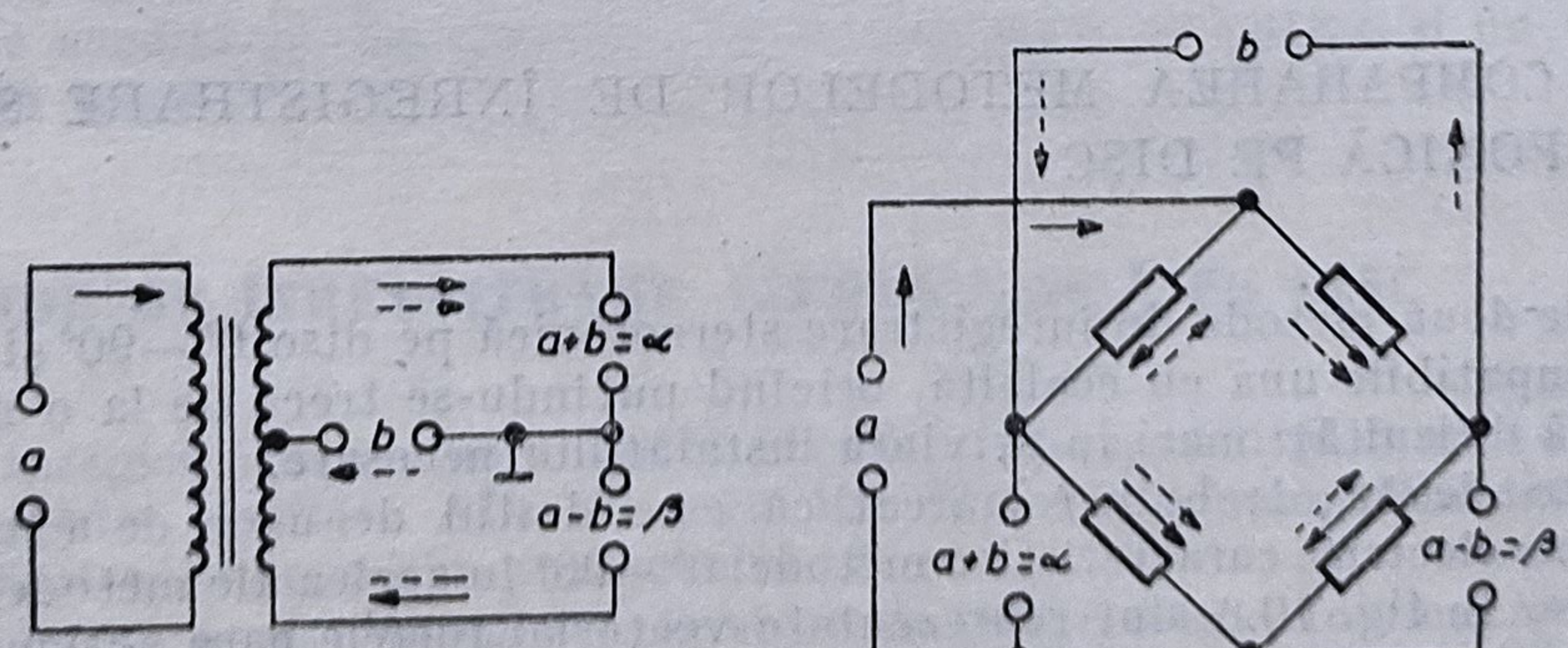


Fig. 10.7. Scheme care permit trecerea de la metoda 0°—90° la metoda 45°—45° și invers.

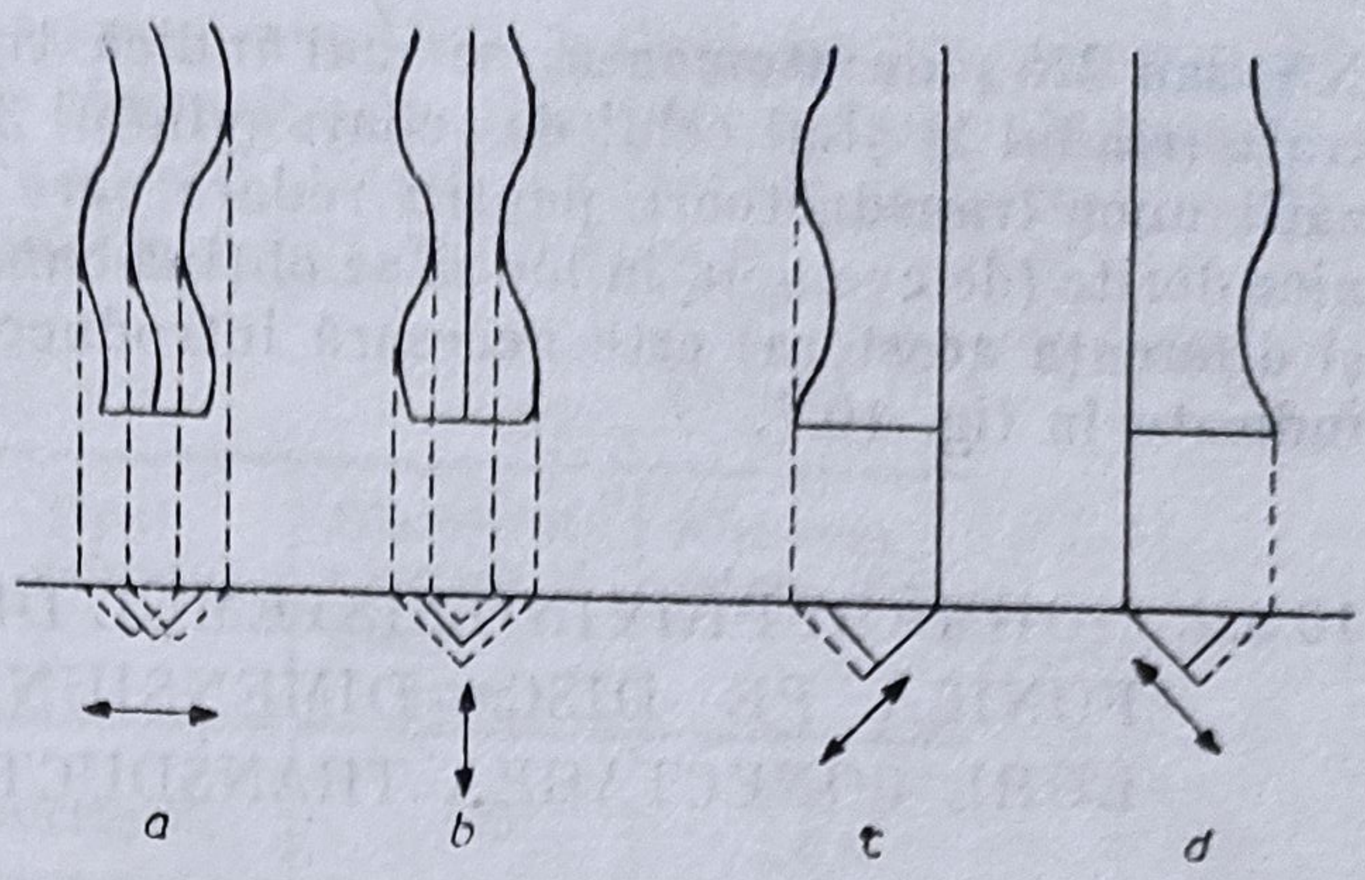


Fig. 10.8. Aspectul şanţurilor la discurile stereofonice înregistrate după metoda 0°—90° (*a*, *b*) respectiv 45°—45° (*c*, *d*).

De aici se poate trage concluzia că folosirea unor circuite electrice adecvate va permite trecerea de la o metodă la alta. Aceste circuite pot fi de tip punte sau transformator, cum sînt cele din fig. 10.7, *a* şi *b*.

Metoda de înregistrare 0°—90° prezintă unele dezavantaje în comparaţie cu metoda 45°—45°, dintre care se pot enumera : prezenţa unor distorsiuni mai mari, provocate de înregistrarea în adîncime la care deplasările acului în sus şi în jos faţă de o linie mediană de deplasare nu sînt identice, acţiunea mărită a vibraţiilor verticale ale echipamentului mobil etc. Forma şanţurilor obţinute prin metodele 0°—90 şi 45°—45° (fig. 10.8) diferă dacă funcţionează numai cîte un canal. La metoda 0°—90°, în cazul funcţionării unui singur canal, aspectul şanţurilor este similar cu acela al unei înregistrări monofonice pe disc (în adîncime sau laterală).

Dacă funcţionează ambele canale, forma şanţului rezultă din combinarea modulaţiilor corespunzătoare celor două canale stereofonice.

La ambele metode, însă, şanţul înregistrat prezintă atît variaţii în adîncime, cît şi variaţii transversale. Dacă variaţia este numai transversală sau numai în adîncime (ţinîndu-se seama de specificul fiecărei metode), se pot trage concluzii importante privind amplitudinile şi fazele celor două semnale. Astfel, la metoda 0°—90° variaţia în adîncime sau transversală a şanţului este rezultatul funcţionării unui singur canal stereofonic, pe cînd la metoda 45°—45° acest lucru reflectă prezenţa unor semnale identice ca frecvenţă şi amplitudine, în fază (înregistrare laterală) sau în opoziţie de fază (înregistrare în adîncime).

În fig 10.9 sînt reprezentate diversele variante de înregistrare stereofonică pe discuri în cazul în care se folosesc procedeele de înregistrare AB,

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Înregistrare	Stereofonia de timp şi de intensitate		Stereofonia de intensitate				
		AB	AB	XY	X+Y X−Y	MS	MS	M+S M−S
2	Transductor pentru înregistrare	+		×	×	+	+	×	×
3	Transductor pentru redare	+	× Cu circuit de transformare	×	+ Cu circuit de transformare	×	×	+	×
4	Redare	AB		AB		XY	XY	M+S M−S	M+S M−S	M+S M−S

Fig. 10.9. Variante de înregistrare a discului stereofonic.

XY sau MS ; de asemenea, se mai indică tipul transductorului de înregistrare (rîndul 2) și al celui de redare (rîndul 3). Se observă că în cazul utilizării unor transductoare pentru redare care nu produc semnalele stereofonice dorite (de exemplu în loc să se obțină canal A, respectiv B, se obțin suma și diferența acestora) este necesară introducerea unor circuite de tipul celor indicate în fig. 10.7.

10.3.2. NORMĂRI PRIVIND SISTEMUL DE ÎNREGISTRARE STEREOFONICĂ PE DISC. DIMENSIUNILE DISCURILOR, SIMBOLURI, CONECTAREA TRANSDUCTORULUI

Din cele arătate rezultă că, indiferent de metoda care s-a adoptat la înregistrarea discului stereofonic, este posibilă redarea acestuia fie cu transductorul de tipul 0°—90°, fie cu unul de tipul 45°—45° (eventual prin intercalarea unui circuit special). Cu toate acestea, s-a căutat ca posesorul unor discuri stereofonice să nu fie pus în situația de a constata în fiecare caz în parte după ce metodă s-a înregistrat discul, cu ce fel de transductor este prevăzut agregatul de redat discuri și dacă are nevoie sau nu de un circuit de transformare. A rezultat astfel necesitatea de a se standardiza procedeele de înregistrare stereofonică pe disc. Așa, de exemplu, s-a prevăzut pentru procedeul AB o înregistrare care să folosească metoda 45°—45° și o redare, de asemenea, 45°—45°.

Numai în cazul special cînd este necesară formarea la redare a unei sume și diferența de semnale sonore se înregistrează cu metoda 0°—90° și se redă cu metoda 45°—45°.

Normarea se referă și la *definirea celor două canale.* Se numește „canal drept" acela care alimentează difuzorul situat în dreapta ascultătorului și care este acționat numai atunci cînd există o mișcare a acului transductorului într-o direcție înclinată cu 45° față de suprafața discului, direcție care ar intersecta axa platanului deasupra acestuia. În mod analog este definit „canalul stîng", cu deosebirea că direcția mișcării acului transductorului ar intersecta axul platanului dedesubtul acestuia (fig. 10.10).

O altă normare se referă la *faza* semnalelor stereofonice, norma adoptată prevăzînd ca mișcarea acului la redare să se facă spre periferia discului pentru amplitudini pozitive și spre centrul discului pentru amplitudini negative (fig. 10.10, *b*).

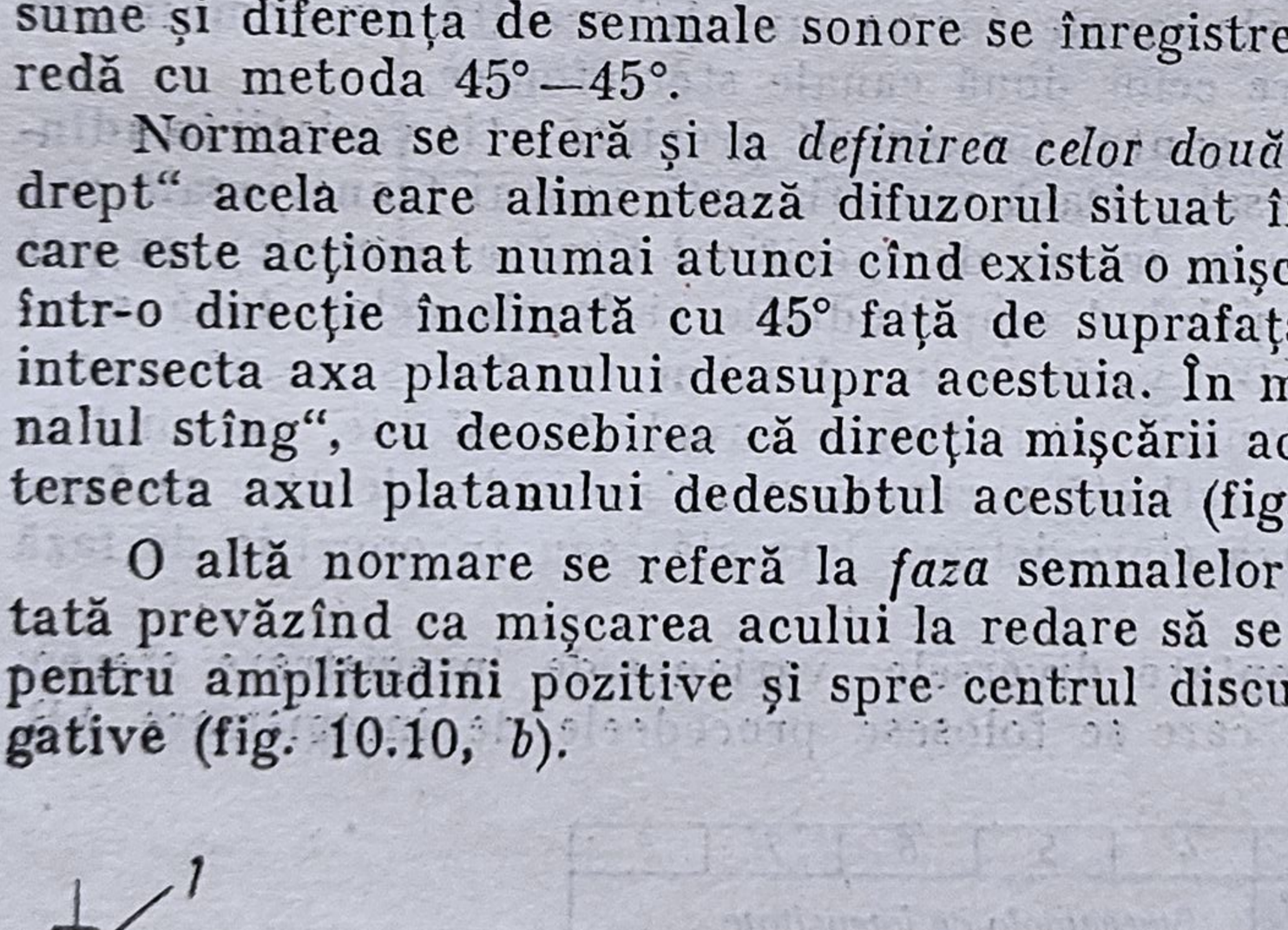


Fig. 10.10. Determinarea celor două canale și a fazelor la discurile stereofonice: *1* — axul platanului; *2* — platan; *3* — canal dreapta; *4* — canal stînga.

Mai există o serie de norme sau recomandări ale Comisiei Electrotehnice Internaţionale, care se referă la dimensiunile discurilor, viteze, simboluri, modul de conectare a transductorului etc. Astfel, s-a stabilit că se vor folosi discurile (stereo) cu dimensiunile indicate în tabelul 10.2.

Tabelul 10.2

Viteza nominală de rotaţie [rot/min]	Tipul şanţului	Diametrul nominal al discului [mm]	Abaterea vitezei [%]
45	microşanţ	175	+ 0,75 −0,5
33 1/3	microşanţ	250	±0,5
33 1/3	microşanţ	300	±0,5

Există, de asemeni, norme şi recomandări privitoare la *codul culorilor*. Astfel, pentru discul standard s-a ales ca simbol un pătrat de culoare verde, pentru discul microşanţ, un triunghi roşu, iar pentru discul stereofonic, două cercuri albe care se intersectează. Întrebuinţarea acelorași culori şi figuri geometrice este recomandată şi pentru indicarea poziţiilor butoanelor de comandă.

Pentru identificarea materialului acului de redare, se recomandă de asemenea folosirea unui cod cu culori; astfel, pentru acul de diamant culoarea corespunzătoare este auriu sau galben, iar pentru cel de safir, culoarea argintie. Conexiunile transductorului de reproducere sînt executate după codul de culori indicate în tabelul 10.3.

Tabelul 10.3

Numărul de conductoare	Canalul	Culoarea conductorului
Cu trei conductoare	canal stînga canal dreapta fir comun sau masă	roşie albă neagră
Cu patru conductoare	canal dreapta canal stînga	roşie şi verde albă şi albastră
Cu cinci conductoare	canal dreapta canal stînga fir comun sau masă	roşie şi verde albă şi albastră neagră

10.4. ÎNREGISTRAREA ŞI REDAREA SUNETULUI CUADROFONIC PE DISC

Pentru înregistrarea şi reproducerea sunetului cuadrofonic pe disc s-au experimentat două variante şi anume:

— codarea celor patru canale de sunet ale sistemului cuadrofonic pe două canale ale discului stereofonic; la redare se decodează cele două canale înregistrate pe disc şi se refac cele patru canale cuadrofonice.

— Înregistrarea şi reproducerea discretă a celor patru canaje cuadrofonice (fiecare canal separat).

Sistemul de înregistrare a sunetului cuadrofonic pe disc folosind codarea şi matricierea

Există diferite posibilităţi de codare şi matriciere a patru canale cuadrofonice pe două canale de înregistrare şi, la reproducere, de decodare a celor două canale şi refacerea celor patru canale iniţiale.

Schema de principiu pentru înregistrarea şi reproducerea cuadrofonică ce foloseşte varianta codării şi decodării celor patru semnale este prezentată în fig. 10.11. Cele patru semnale SF, SS, DF şi DS reprezentînd stînga faţă şi spate şi dreapta faţă şi spate sînt codate şi matriate pentru a obţine două semnale S (stînga) şi D (dreapta) corespunzătoare sistemului stereofonic cu două canale care se pot înregistra pe disc după procedeul cunoscut.

Fiecare din cele două semnale S şi D conţine un amestec de două semnale cuadrofonice într-o astfel de manieră încît cele patru semnale pot fi reconstituite la reproducere cu ajutorul unei matrici de decodare care recunoaşte codul.

În toate sistemele de codare şi matriciere, separarea între canalele SF, SS, DF, şi DS este de ordinul a ± 6dB depinzînd foarte mult de structura programului. Această limitare se datoreşte faptului că informaţia maximă care poate fi transmisă prin cele două canale stereofonice este limitată la o cantitate fixă. Aşa cum rezultă din fig. 10.11 capacitatea de informaţie corespunzătoare celor două canale este repartizată în acest cazl a patru canale cuadrofonice. De aceea cantitatea de informaţie pentru fiecare canal este mai mică faţă de cazul cînd se alocă patru canale separate.

Performanţele şi efectul cuadrofonic reţinut la redare cu sistemul de codare şi matriciere a celor patru canale în două sînt inferioare sistemului care foloseşte patru canale independente.

Sistemul de înregistrare a sunetului cuadrofonic care foloseşte patru canale separate

Sistemul de înregistrare a sunetului cuadrofonic pe canale separate are la bază următoarele principii (fig. 10.12).

Semnalele cuadrofonice SF + SS sînt înregistrate pe peretele din stînga al şanţului, iar semnalele cuadrofonice DF + DS sînt înregistrate pe peretele din dreapta al şanţului, după principiul înregistrării stereofonice convenţionale.

Semnalul SF—SS modulează o purtătoare de 30 kHz care se înregistrează suprapus pe peretele din stînga al şanţului, iar DF—DS modulează, de asemeni, o purtătoare de 30 kHz care se înregistrează suprapus pe peretele din dreapta şanţului. Pentru a nu exista interferenţe între cele două semnale înregistrate pe fiecare perete în parte, semnalele sumă trec printr-un filtru trece jos.

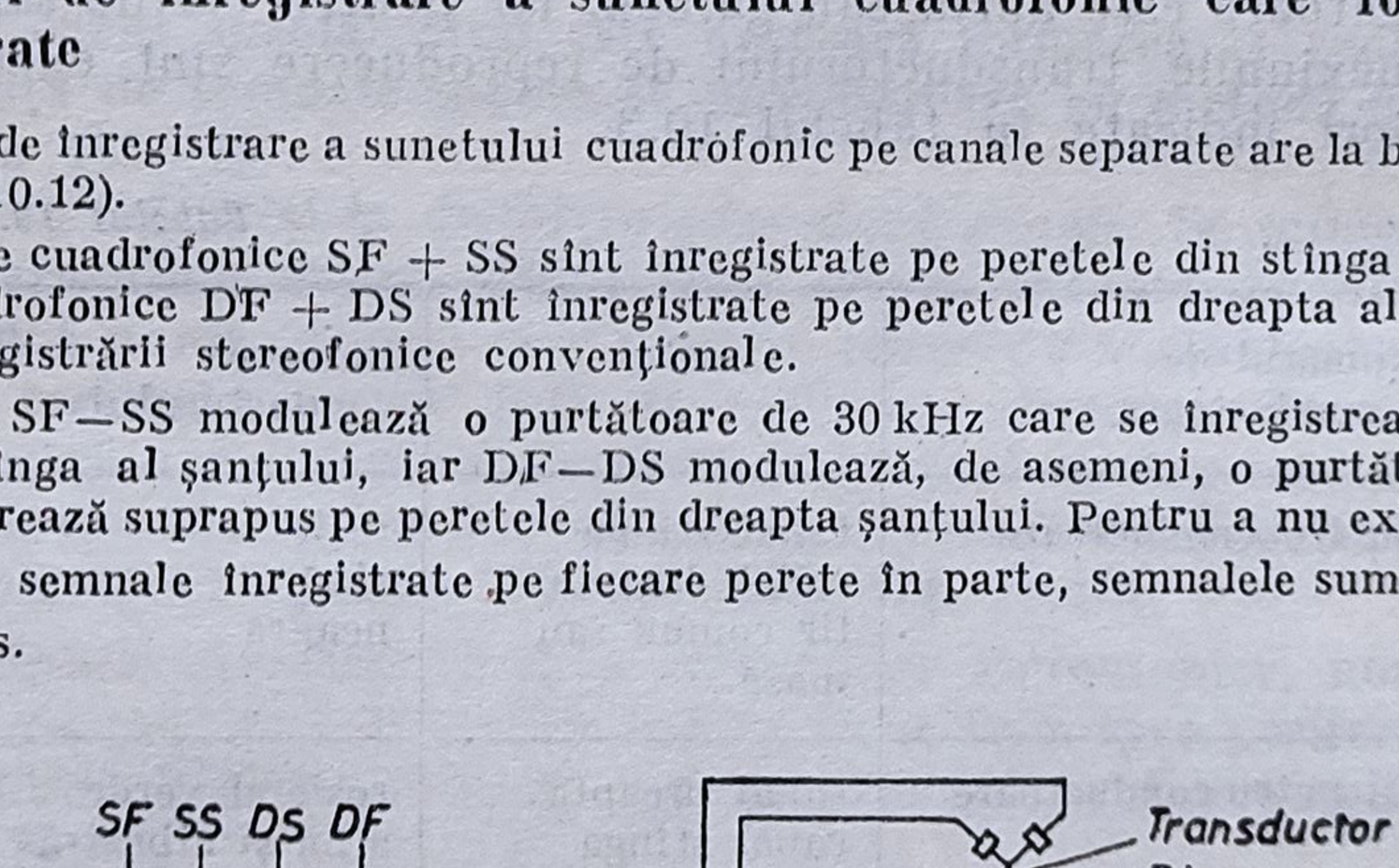


Fig. 10.11. Elementele sistemului de înregistrare şi redare a discului cuadrofonic folosind sistemul de matriciere şi codare.

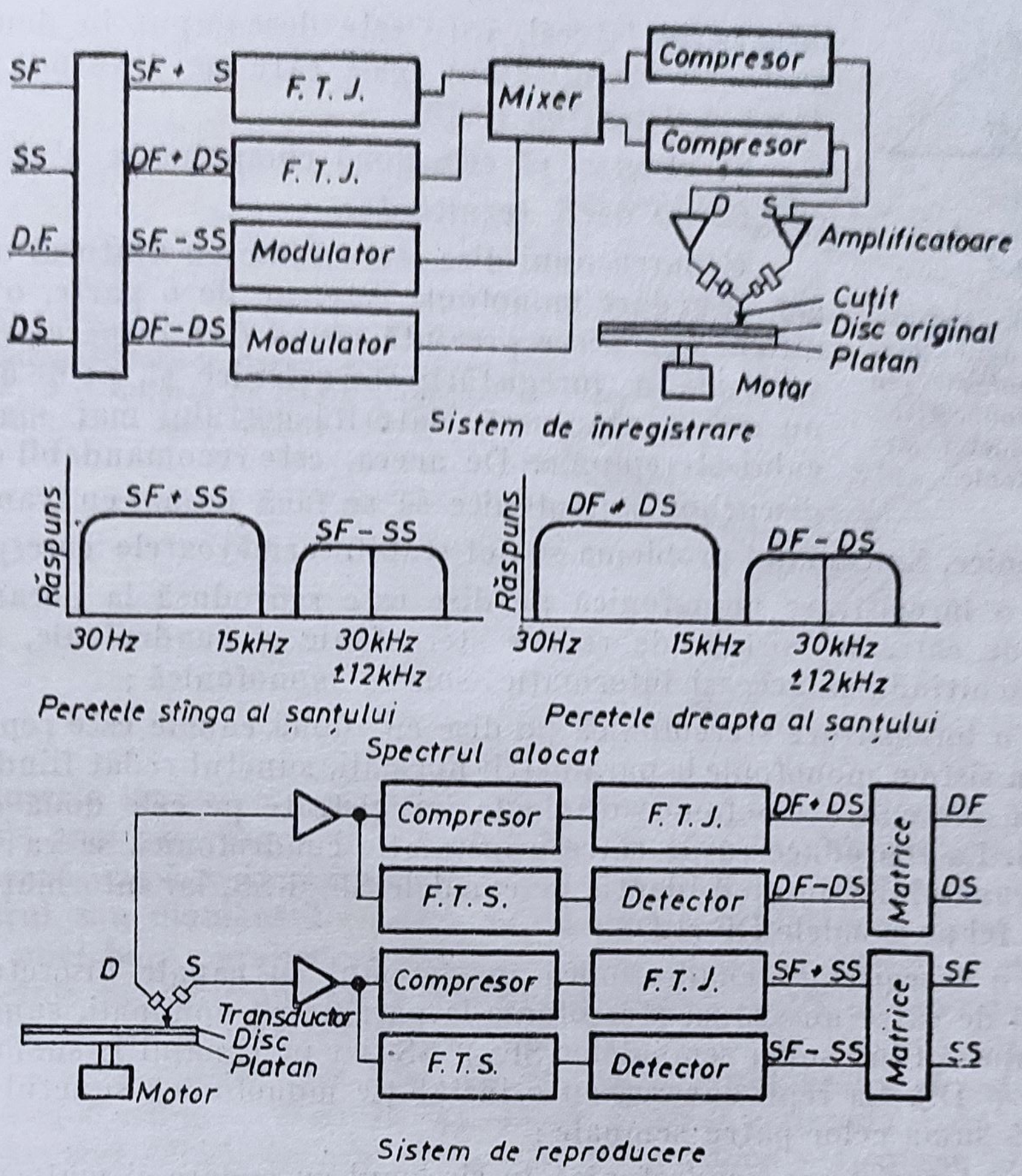


Fig. 10.12. Elementele sistemului de înregistrare și redare a sunetului cuadrofonic pe disc folosind sistemul cu canale discrete.

La reproducere, semnalul DF + DS este separat printr-un filtru trece jos, iar semnalul DF—DS este separat printr-un filtru trece sus și detectat. Cele două semnale se introduc într-o matrice și se obțin semnalele DF și DS.

În același mod se obțin semnalele SF și SS de pe peretele din stînga al șanțului de pe disc.

10.5. COMPATIBILITATEA DISCURILOR STEREOFONICE ȘI CUADROFONICE

Condiția de compatibilitate se traduce prin asigurarea următoarelor posibilități :

— un agregat de redare stereofonic să poată fi utilizat și pentru discurile înregistrate după procedeul monofonic și cuadrofonic ;

— un agregat obișnuit să permită redarea unor discuri stereofonice și cuadrofonice cu o calitate comparabilă cu aceea a unui disc monofonic.

Din punct de vedere practic, problema redării discurilor monofonice cu ajutorul unui transductor stereofonic are o importanță foarte mare. Din cele arătate s-a ajuns la concluzia că un transductor pentru redare stereofonică găsește la un disc monofonic un semnal sonor complet în conținut,

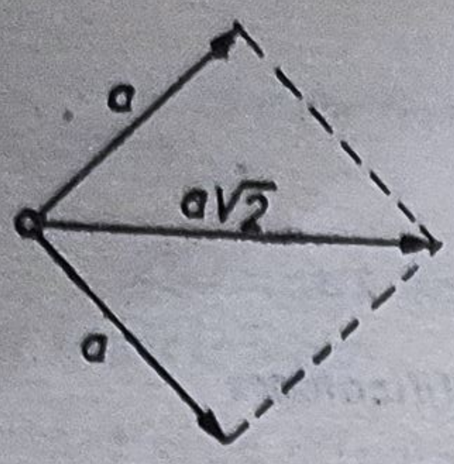


Fig. 10.13. Descompunerea unui semnal monofonic în cazul reproducerii cu un transductor stereofonic.

înregistrat lateral, care este descompus în două componente de amplitudini egale care se transmit canalelor drept și stîng (fig. 10.13).

Se observă că cele două componente sînt mai mici de $\sqrt{2}$ ori decît rezultanta.

Redarea unui disc stereofonic cu ajutorul unui agregat de redare monofonic este, pe de o parte, o chestiune dificilă, deoarece prezintă riscul de a dispare componenta verticală a înregistării stereofonice și, pe de altă parte, nu este avantajoasă, datorită costului mai mare al discului stereofonic. De aceea, este recomandabil ca redarea discurilor stereofonice să se facă numai cu transductoare stereofonice. Sintetizînd problema se pot stabili următoarele corespondențe:

— o înregistrare monofonică pe disc este reprodusă la parametrii nominali de către un sistem de redare stereofonic și cuadrofonic, pe fiecare canal ascultîndu-se aceeași informație sonoră monofonică;

— o înregistrare stereofonică pe disc cu două canale este reprodusă de către un sistem monofonic la parametrii normali, sunetul redat fiind suma celor două semnale stereofonice originale înregistrate pe cele două canale ale discului. La reproducerea de către o instalație cuadrofonică se va reda informația canalului S în mod identic pe canalele SF și SS, iar informația canalului D la fel pe canalele DF și DS;

— o înregistrare cuadrofonică în sistemul cu canale discrete este reprodusă de către un sistem stereofonic la parametrii nominali, sunetul redat de canalul S fiind suma semnalelor SF + SS, iar pe canalul D suma semnalelor DF + DS. La reproducerea cu o instalație monofonică sunetul redat reprezintă suma celor patru semnale;

— o înregistrare cuadrofonică în sistemul cu codare și matriciere nu se poate reproduce de un sistem stereofonic sau de unul monofonic, deci acest sistem de înregistrare cuadrofonic pe disc nu este compatibil cu sistemul sterefonic și monofonic.

10.6. TRANSDUCTOARE PENTRU REDAREA DISCURILOR STEREOFONICE

Realizarea practică a unor transductoare care să permită transformarea semnalelor stereofonice înregistrate pe disc în semnale electrice a pus o serie de probleme mai dificil de rezolvat decît în cazul discurilor monofonice.

Într-adevăr, în cazul redării unor discuri stereofonice nu se pune numai problema ca transductorul să urmărească cu ușurință ondulațiile complexe ale șanțului, ci și să efectueze o separare a semnalelor stereofonice înregistrate.

Diferitele transductoare pentru redări stereofonice utilizate în momentul de față pe scară largă se pot grupa în două categorii: unele care permit separarea pe cale mecanică a semnalelor stereofonice, categorie din care fac parte transductoarele de tip piezoelectric, și altele care oferă posibilitatea de separare a acestor semnale pe cale electrică. În această ultimă categorie

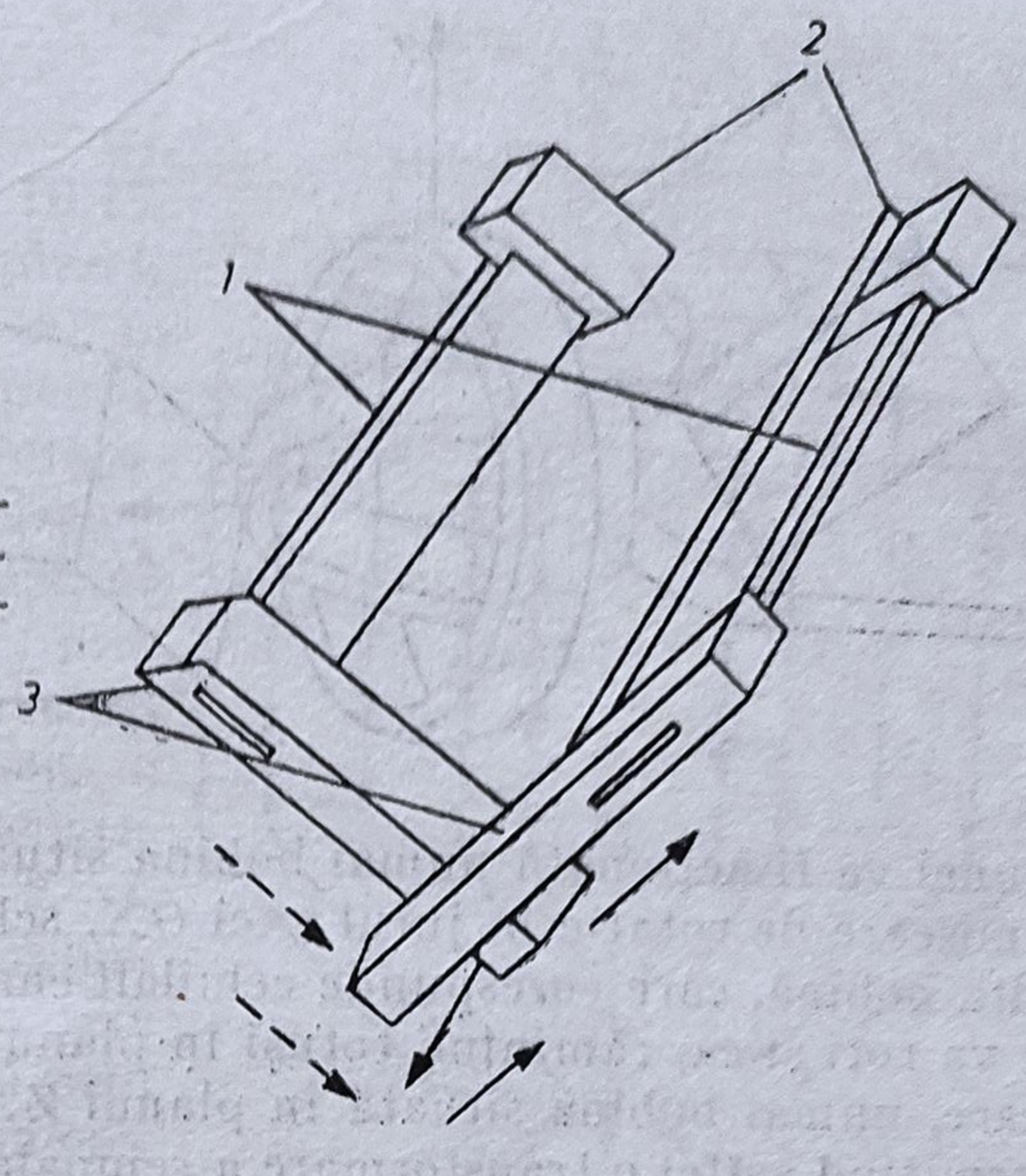


Fig. 10.14. Transductor piezoelectric pentru redarea discurilor stereofonice: *1* — cristale; *2* — piesele de fixare a cristalelor; *3* — bare mobile.

se pot înscrie transductoarele de tip magnetic şi electrodinamic. Să considerăm, de exemplu, cazul unui *transductor cu cristal* (tipul *piezoelectric*), care funcţionează după sistemul separării mecanice (fig. 10.14).

Safirul sau diamantul cu care se explorează şanţul este fixat la extremitatea unei bare paralele cu tangenta la şanţ în punctul de contact. Cele două cristale cu ajutorul cărora se obţin semnalele electrice corespunzătoare celor două canale stereofonice sînt fixate cu un capăt la două bare radiale mobile, cealaltă extremitate fiind fixată rigid. Presupunînd că este înregistrat un singur canal — dreapta sau stînga — va fi acţionată bara corespunzătoare acestui canal, care la rîndul ei va produce o torsiune la cristalul respectiv.

În cazul unei deplasări orizontale a acului, ambele bare se vor mişca simultan şi în acelaşi sens. Pentru o deplasare pe verticală a acului de redare, mişcările simultane ale celor două bare radiale se vor produce în sens opus (una în sensul acelor unui ceasornic şi cealaltă invers). Acest mod de mişcare a barelor radiale este determinat de faza semnalelor înregistrate. S-a arătat mai înainte că variaţia în lăţime a şanţului este rezultatul acţionării unor semnale electrice în fază, ceea ce se traduce prin mişcarea în acelaşi sens a barelor ; variaţia în adîncime este rezultatul acţionării unor semnale electrice în opoziţie de fază, de unde a rezultat şi mişcarea în sens opus a acestor bare.

Cele două semnale stereofonice fiind astfel separate, transformarea lor în semnale electrice este posibilă prin intermediul celor două cristale. Într-adevăr, rotirea celor două bare provoacă torsionarea cristalelor, ceea ce înseamnă apariţia unor semnale electrice corespunzătoare.

Separarea se poate obţine şi pe cale electrică, dacă se utilizează un *dispozitiv electrodinamic* ca în fig. 10.15.

Transductorul din această figură este prevăzut cu două bobine mobile dispuse în unghi drept una faţă de cealaltă, ambele fiind solidare cu o bară orizontală care poartă safirul şi care este aşezată la intersecţia planelor în care sînt amplasate cele două bobine.

Întregul sistem este montat într-un cîmp magnetic paralel cu bara care poartă safirul. Dacă se înregistrează un singur canal, cel drept de exemplu,

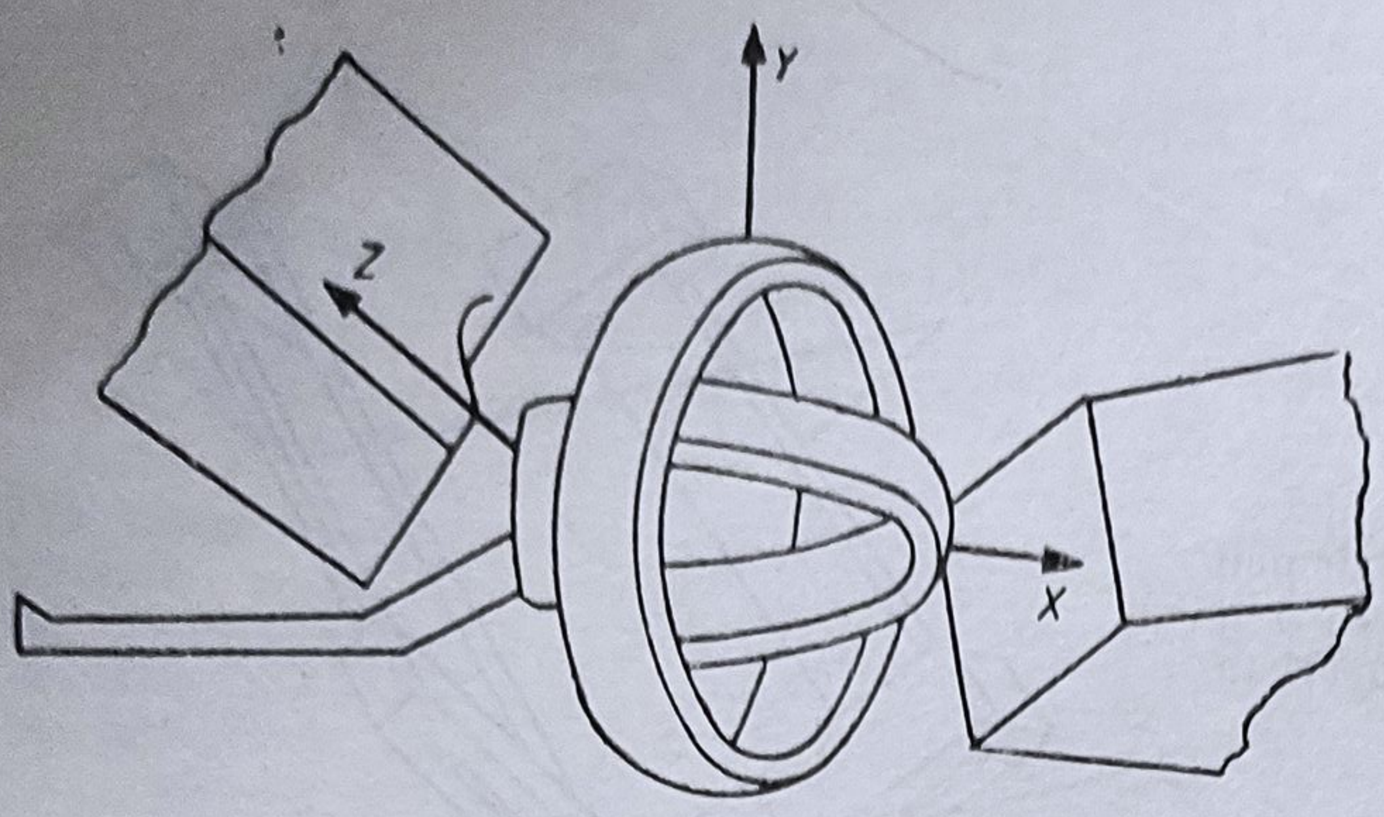


Fig. 10.15. Transductor electrodinamic stereofonic pentru redarea discurilor.

atunci va fi acționată numai bobina situată inițial în planul ZX, care suferă o mișcare de rotație în jurul axei OX, schimbîndu-și în acest fel planul. Cealaltă bobină, care corespunde celuilalt canal și care este situată în planul ZY, se va roti și ea, rămînînd totuși în planul în care era situată inițial. Prin urmare, numai bobina situată în planul ZX va tăia liniile de forță magnetică, permițînd astfel o transformare a semnalelor înregistrate în semnale electrice.

În mod analog, în cazul în care se înregistrează numai canalul drept, bobina situată în planul ZY va fi aceea care va permite transformarea semnalului sonor înregistrat în semnal electric. Înregistrarea pe ambele canale va provoca deplasarea ambelor bobine în planuri diferite de cele inițiale, permițîndu-se astfel separarea celor două semnale stereofonice.

Un alt sistem care permite separarea pe cale electrică a semnalelor stereofonice înregistrate este de tipul celui ilustrat în fig. 10.16.

Acesta, spre deosebire de primul sistem, folosește *variația reluctanței*. În fig. 10.16, *a* și *b* sînt reprezentate două transductoare care se bazează pe acest principiu și care sînt folosite în sistemul 0°—90°, respectiv în sistemul 45°—45°.

Separarea semnalelor stereofonice înregistrate se face în acest caz în modul următor : bara pe care este montat acul de redare face parte atît din circuitul magnetic pentru canalul din dreapta, cît și din circuitul magnetic destinat canalului din stînga. Cînd este înregistrat un singur canal, bara va căpăta o astfel de mișcare, încît va modifica numai reluctanța întrefie-

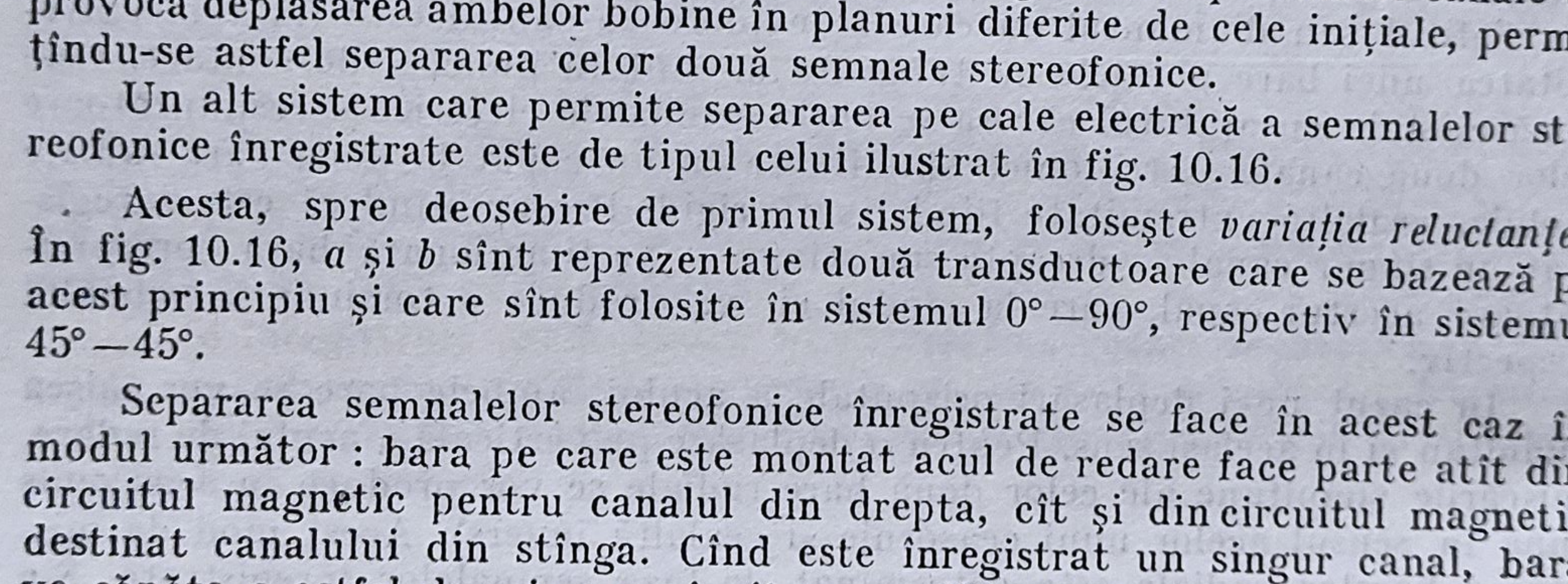


Fig. 10.16. Transductoare stereofonice cu reluctanță variabilă pentru redarea discurilor

rului circuitului magnetic respectiv. Dacă însă sînt înregistrate ambele canale, se schimbă reluctanța ambelor întrefieruri. Acest lucru se observă bine în fig. 10.17.

Înfășurările *1* și *3* situate pe piesele polare ale unui magnet sînt legate în serie. Aceste piese polare sînt perpendiculare pe acelea corespunzătoare înfășurărilor *2* și *4* care de asemenea sînt legate în serie. O deplasare a barei care susține acul de redare în direcția săgeții F_1 produce o variație a reluctanței în circuitul magnetic *1—3*. În mod asemănător, o deplasare în direcția F_2 crează o variație a reluctanței în circuitul magnetic *2—4*. Deci acest tip de transductor cu reluctanță variabilă comportă bobinaje fixe în care tensiunea utilă este produsă prin variația întrefierului din circuitul magnetic. Armătura mobilă — respectiv fixă — pe care este fixat acul de redare determină mărirea fluxului magnetic în piesa polară de care se apropie.

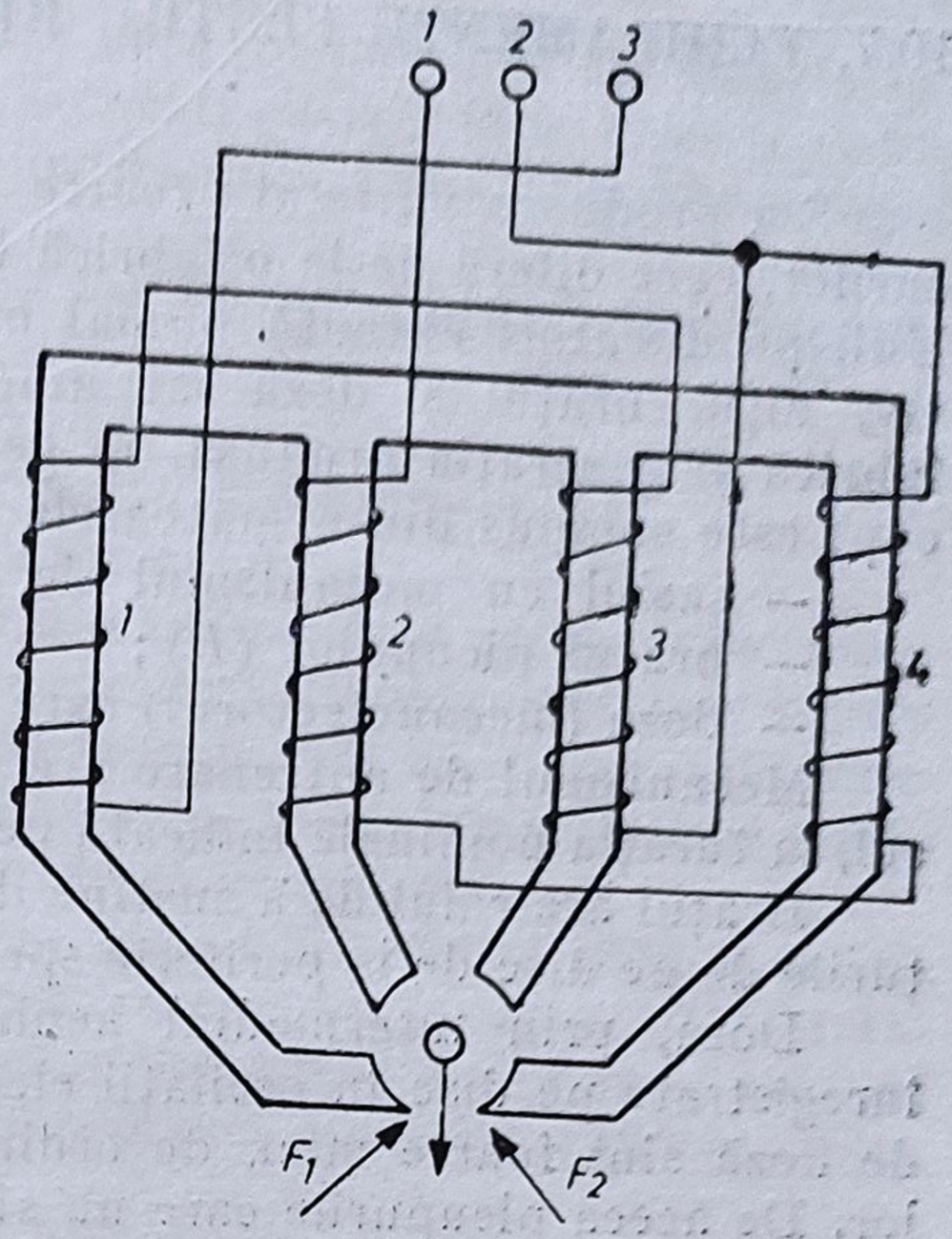


Fig. 10.17. Schema de principiu a transductorului din figura 10.16.

Indiferent de transductorul cu care se face redarea discului stereofonic, este necesar ca acesta să asigure o serie de condiții, cum ar fi :

— calitatea bună a audiției stereofonice ;
— uzura minimă a discului și a acului ;
— calități satisfăcătoare pentru redările monofonice ;
— micșorarea la minimum a influenței factorilor mecanici.

Greutatea elementului transductor prezintă o deosebită importanță pentru realizarea condițiilor de mai sus. Astfel, o greutate mică a acestuia asigură o mișcare normală a acului de redare în șanț, micșorînd pericolul de uzură și de deformare a șanțului. Acesta este și motivul pentru care este necesară reglarea la o valoare optimă a presiunii exercitate de transductoare asupra discului. Datorită importanței acestei presiuni, fabrica constructoare de agregate de redat discuri o menționează printre datele tehnice.

Dacă se constată totuși că este necesară o presiune mai mare decît cea indicată, trebuie să se verifice cu grijă modul în care se mișcă brațul care susține elementul transductor și, mai ales, să se stabilească dacă platanul, pe care este așezat discul, este orizontal. Buna funcționare a agregatului de redat discuri este condiționată de asigurarea unui platan orizontal și a unui paralelism între fața interioară a transductorului și suprafața discului.

Alți factori care influențează funcționarea transductorului sînt :

— poziția acului de redare (reglarea defectuoasă a poziției acestuia poate produce distorsiuni de redare) ;

— formele diferite ale acelor de redare și înregistrare (această problemă se pune și la redarea discurilor monofonice, ea fiind totuși mai complexă în cazul redării discului stereofonic) ;

— complianța resortului care susține acul și care trebuie să asigure o deplasare ușoară a acestuia pe verticală și pe orizontală.

10.7. ECHIPAMENTE PENTRU REDAREA DISCURILOR

S-a produs o varietate foarte mare de echipamente pentru redarea discurilor, care diferă de la o fabrică la alta precum și de la o generație la alta. Unii producători execută numai mecanismul de antrenare cu șasiul respectiv, alții, brațul și doza sau amplificatoarele și difuzoarele. Indiferent de fabrică și generația produsă, în general un echipament de redat discuri (picup) este compus din următoarele părți principale (fig. 10.18) :

— șasiul cu mecanismul de antrenare (*S*) ;
— brațul picupului (*B*) ;
— doza (mecanolectorul) care poate fi mono, stereo sau cuadrofonic (*M*).

Mecanismul de antrenare are rolul de a antrena platanul, respectiv discul, la turația nominală indicată pe fiecare disc fonografic.

Brațul are rolul de a susține doza, în timp ce acul lector explorează șanțurile de pe disc de la periferie spre centru.

Doza, prin intermediul acului lector, transformă oscilațiile mecanice înregistrate pe disc în oscilații electrice. Întrucît oscilațiile electrice produse de doză sînt foarte mici, de ordinul milivolților, este necesară amplificarea lor. De aceea picupurile care nu sînt prevăzute cu un amplificator și difuzor propriu nu pot fi utilizate fără un alt echipament electroacustic (amplificator, radioreceptor).

Pornind de la această observație rezultă o primă clasificare a picupurilor :

— picupuri fără amplificator și difuzor (mono sau stereo) — deckuri ;
— picupuri cu amplificator și difuzor (mono sau stereo).

La rîndul lor, picupurile complexe, care au amplificatoare și difuzoare, se pot clasifica astfel :

— picup monofonic, cu un amplificator și difuzor ;
— picup stereofonic cu amplificator și difuzor pentru un singur canal, pentru al doilea canal urmînd să fie conectat la un echipament de ascultare exterior ;

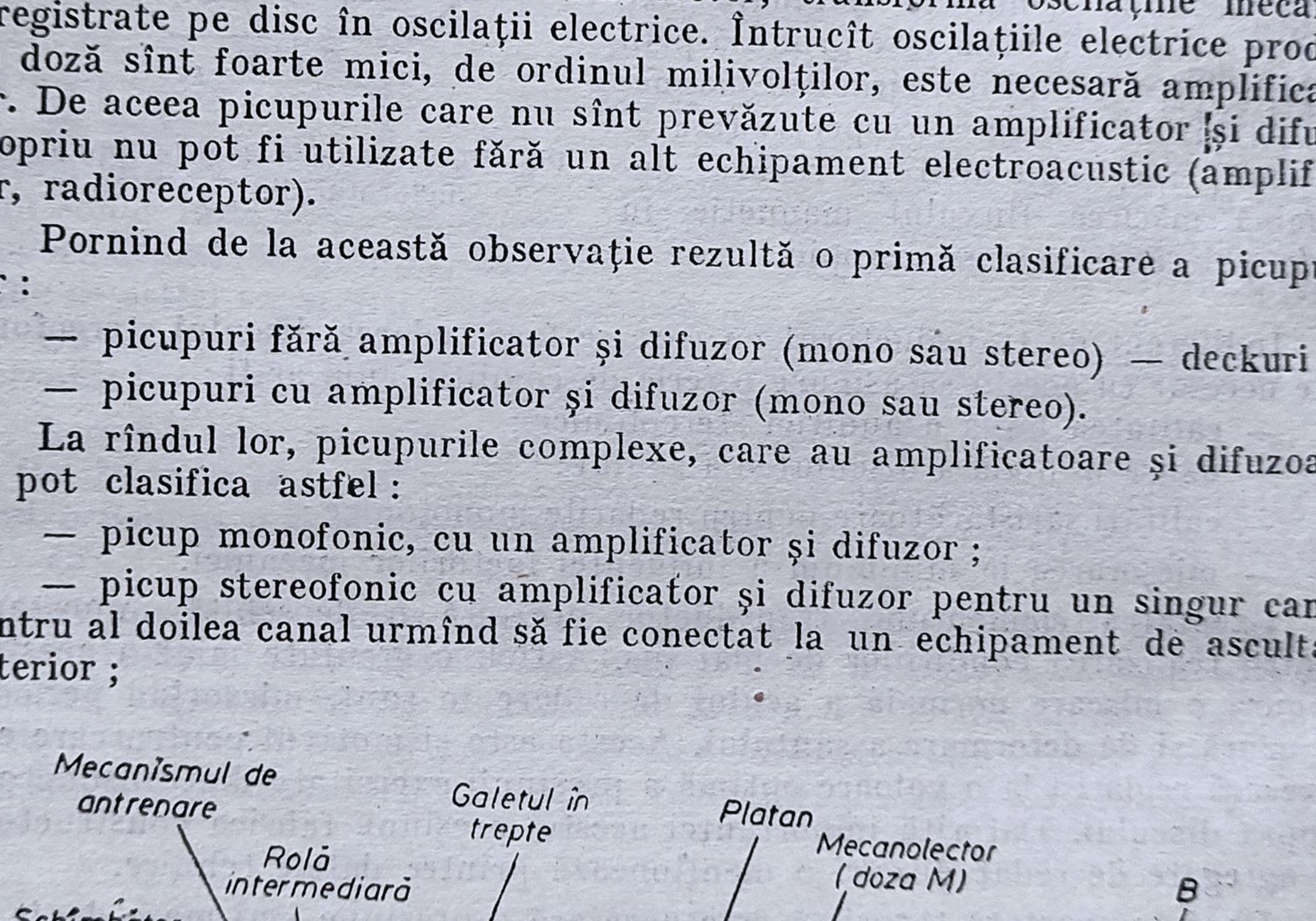


Fig. 10.18. Schița picupului.

— picup stereofonic cu amplificatoare și difuzoare pentru ambele canale. În acest caz cele două difuzoare sînt montate de regulă în boxe separate și detașabile pentru a se putea instala în mod convenabil corespunzător unei audiții stereo optime.

Din punct de vedere al caracteristicilor tehnice și al utilizării, picupurile se clasifică în :

— picupuri profesionale ;
— picupuri semiprofesionale sau de înaltă fidelitate ;
— picupuri pentru larg consum (amatori).

Echipamentele simple compuse numai din sistemul de antrenare și dozălector se pot conecta la orice instalație de ascultare monofonică sau stereofonică în funcție de tipul dozei (mono sau stereo), partea mecanică fiind identică pentru ambele tipuri. Un astfel de echipament mono poate fi ușor modificat în echipament stereo prin schimbarea dozei de redare.

În cazul în care se dorește modificarea unui echipament monofonic cu amplificator și difuzor în echipament stereo, este necesar ca, în afara înlocuirii dozei de redare, să se mai realizeze al doilea canal de amplificare și al doilea difuzor, care se va monta într-o boxă separată (sau se ascultă al doilea canal într-un radioreceptor).

În tabelul 10.4 sînt prezentate cîteva deckuri stereo.

Tabelul 10.4

Deckuri stereo produse de Tesla și Electronica

Tip	Deck stereo Tesla	Deck stereo Tesla	Deck automat stereo Electronica
	NAD 5120	NC 430	
Viteza de turație nominală (rot/min)	$33^1/_3$; 45	$33^1/_3$; 45	$33^1/_3$; 45
Eroarea de viteză nominală %	±0,9	±0,9	±0,2
Variația de viteză (%)	±0,15	±0,15	—
Forța de apăsare la ac recomandată (mN)	10—15	12—15	—
Raport semnal/zgomot (dB)	—36	—36	—30
Sensibilitatea la 1 000 Hz (mV)	1	1	—
Caracteristica de frecvență (Hz)	20—18 000	20—20 000	31,5—1 400
Diafonie între canale (dB)	—	36	—
Puterea de ieșire (W)	—	—	—
Distorsiuni (%)	—	—	—
Tensiunea de alimentare (V/Hz)	220/50	220/50	220/50
Puterea absorbită (VA)	2	2	12
Dimensiuni (mm)	420 × 354 × 105	480 × 320 × 150	390 × 325 × 130
Greutatea (kg)	5	7,5	5

10.8. ÎNREGISTRAREA DIGITALĂ A SEMNALELOR AUDIO PE DISC

Înregistrările digitale audio pe disc sînt derivate din înregistrările video pe disc.

Tehnicile de înregistrare digitală a semnalului pe disc au la bază sistemul modulației impulsurilor în cod (MIC), ale cărui principii de bază au fost enunțate la § 8.4 și care conduc la înregistrarea unor semnale cu un spectru de frecvență mai mare de 1 MHz, fiind de același ordin de mărime cu cele utilizate la înregistrările videó.

Primul disc experimental de acest gen a fost prezentat de firma Telefunken în iunie 1970 și a fost rezultatul a 5 ani de cercetări de laborator. Acest disc avea la bază înregistrarea și citirea *mecanică* a semnalului. Paralel, în aceeași perioadă, firmele RCA și Thompson CSF au făcut experimentări pentru înregistrarea pe disc a semnalului, folosind procedeul *holografic*, iar în anul 1974 au prezentat discuri la care gravarea silonului era reprezentată de o sumă de linii a căror lungime variabilă materializa modulația semnalului. Cu timpul s-au dezvoltat diferite sisteme de înregistrare și redare a semnalului digital.

În prezent cele mai folosite sînt discurile înregistrate *optic*, care sînt citite prin transparență, reflexie sau electrostatic, avînd performanțe apropiate, și cunoscute sub denumirea de „disc compact" (CD). Dintre acestea, discul compact citit prin reflexie cu rază laser avînd performanțele cele mai bune și cele mai stabile, s-a răspîndit cel mai mult. Aceste discuri se înregistrează pe o singură față, înregistrarea este nedistructivă, se recunosc ușor prin faptul că porțiunea înregistrată are reflexii argintii.

A. Sistemul de înregistrare și redare mecanic

Înregistrarea se face prin gravarea verticală a discului, avînd pasul dintre rile de 7—8 microni și profunzimea variabilă între 0,1—1 microni. Viteza de rotație a discului la gravare este de 1/10 din viteza mare de citire care este de 1 500 rot/min, pentru a reda banda largă de frecvențe (care ajunge la 3 MHz).

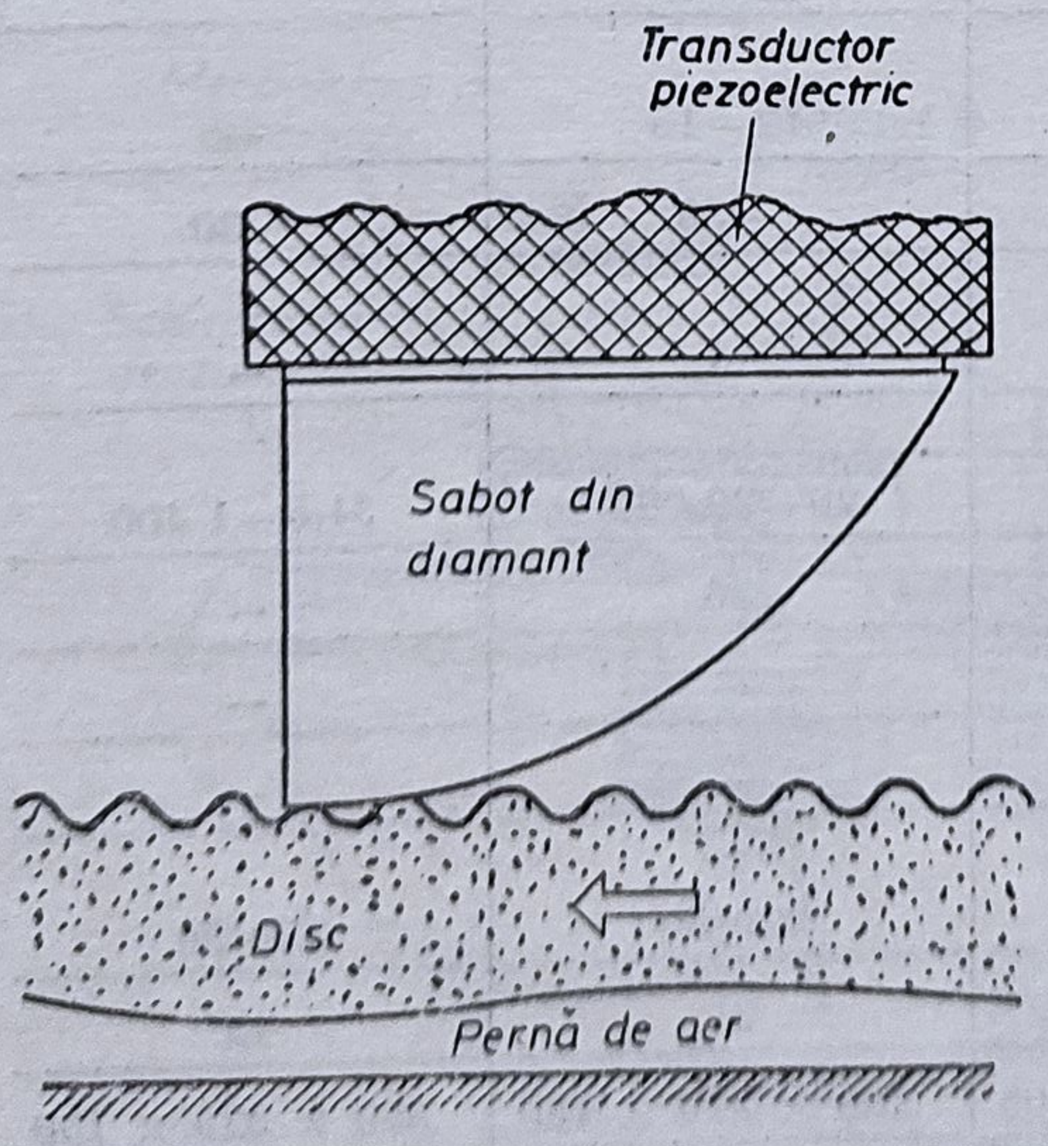


Fig. 10.19. Vedere în secțiune a modulul de citire a discului.

Deaorece banda de frecvență este foarte mare acest semnal nu este înregistrat direct și de aceea se folosește o purtătoare care se modulează în frecvență cu acest semnal. La înregistrare frecvența este divizată de 10 ori. Durata unui disc la viteza de citire normală este de ordinul a 12 min; gravarea unei fețe durează cca. 2 ore. Discul astfel obținut este presat cu o cadență de 10 000 bătăi/oră pe o foiță subțire de clorură de vinil; rezultînd discul negativ care se folosește la redarea semnalului. Deoarece acest disc este foarte sensibil la praf, atelierul în care se face presarea este alimentat cu aer filtrat sub presiune.

Discul negativ întors se așază pe o pernă de aer și se rotește cu o viteză de 1 500 rot/min, astfel că sub presi-

unea capului de citire care, are forma unui sabot (fig. 10.19), se deformează. Transductorul piezoelectric funcţionează prin variaţie de presiune şi nu prin variaţie de amplitudine (ca la discurile obişnuite). Capul de citire culege deci un semnal la care frecvenţa ne interesează, nu forma semnalului.

În plus, acest cititor nu are nevoie să furnizeze semnal decît într-un interval de frecvenţă situat în jurul frecvenţei purtătoare.

Rila foarte fină nu poate fi folosită ca ghid pentru deplasarea orizontală a cititorului şi de aceea acesta este montat pe un pod (suport) şi antrenat de un motor sincronizat cu pasul rilei.

Dacă această antrenare este oprită, vîrful cititorului sare după 10—20 ture ale discului şi revine de regulă înapoi, oprindu-se brusc. Discul nu este stricat de această manevră datorită elasticităţii foiţei de vinilin şi faptului că este aşezată pe pernă de aer.

Marele avantaj al acestui tip de disc este simplitatea citirii.

Totuşi, deşi densitatea de informaţii în raport cu discul obişnuit este multiplicată de peste 100 de ori, este încă insuficient pentru a realiza o durată convenabilă a înregistrării, deci pasul de 8 microni este prea mare.

B. Sistemul de înregistrare şi redare optico-holografic

Înregistrarea holografică (holograma) este realizată cu o rază laser şi citită de ea însăşi. Holograma înregistrată pe disc se prezintă ca o suprafaţă în relief care este bine conturată şi localizată pe suprafaţa discului. Sistemul holografic constă într-o înregistrare a semnalelor secvenţial, unele după altele, utilizînd o suprafaţă de cîţiva milimetrii pătraţi.

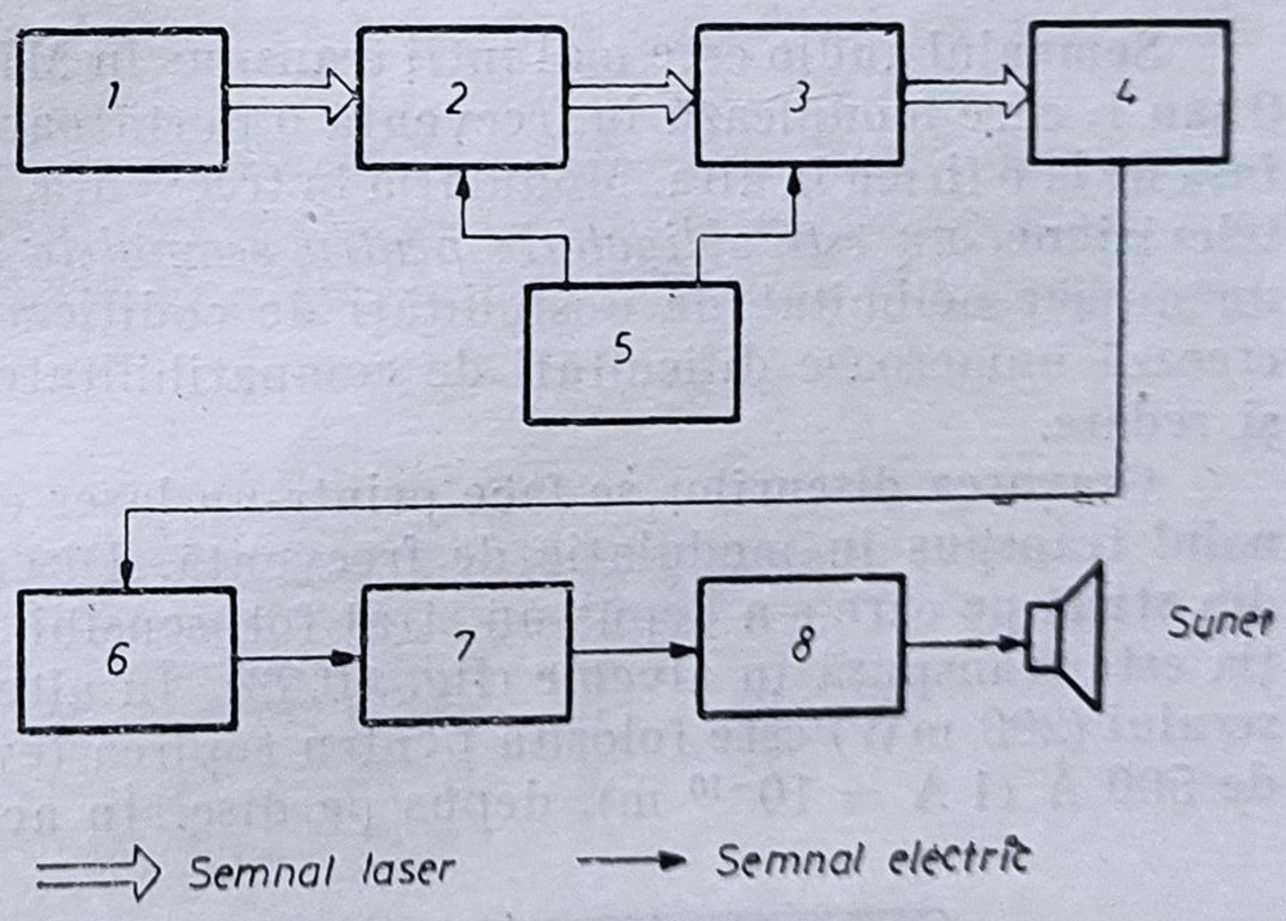


Fig. 10.20. Schema sinoptică de citire a unei holograme: *1* — laser; *2* — lector optic; *3* — disc holografic; *4* — senzor; *5* — mecanism de antrenare; *6* — memoria imaginii; *7* — convertor digital-analog; *8* — filtru.

Prin acest procedeu s-au realizat discuri cu diametrul de 20 cm, pe care s-au înregistrat 54 000 holograme cu diametru de circa 1 mm, şi care au o durată de înregistrare de 12 minute. S-au făcut încercări pentru înregistrarea sunetului complementar cu imaginea video, după ce sunetul a fost mai întîi codificat în MIC. În fig. 10.20 se prezintă schema sinoptică de citire a unei holograme, iar în fig. 10.21 (pag. 262) este reprezentată holograma la înregistrare a unui cuplu imagine-sunet.

C. Sistemul optic cu laser (CD)

Pe aceste discuri modulaţia este materializată printr-o serie de alveole de lărgime şi profunzime constantă, dar de lungime (durată) variabilă; semnalul este modulat în frecvenţă, iar lungimea alveolei caracterizează coeficientul de modulaţie în frecvenţă a purtătoarei (fig. 10.22).

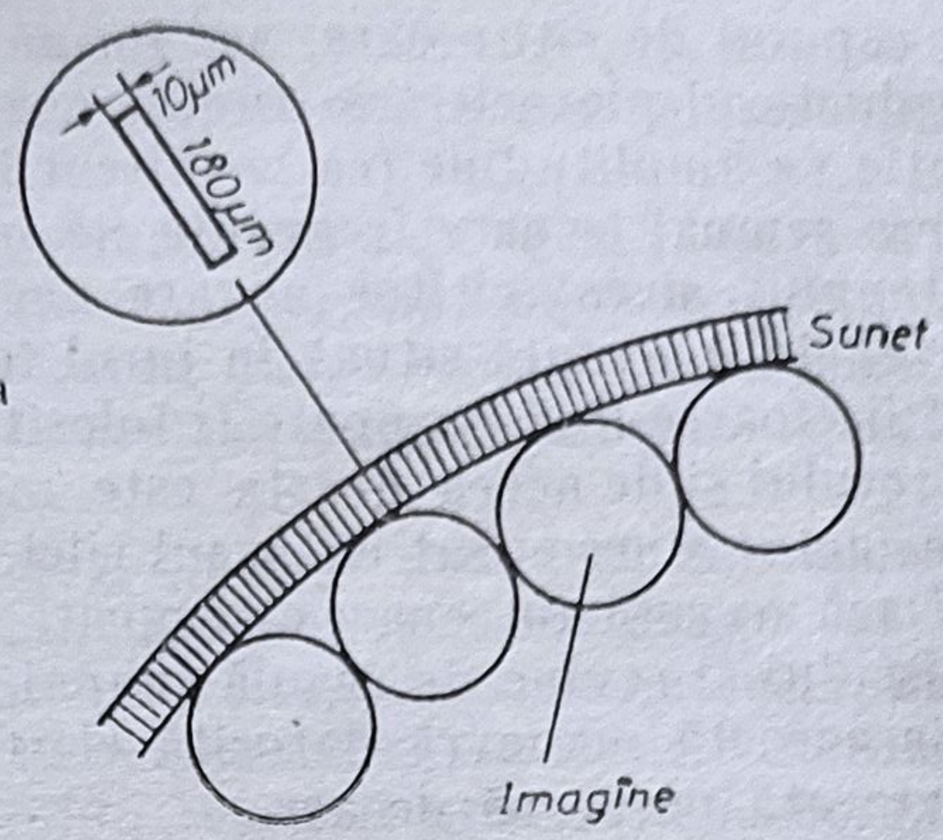


Fig. 10.21. Hologramă la înregistrare a unui cuplu imagine-sunet.

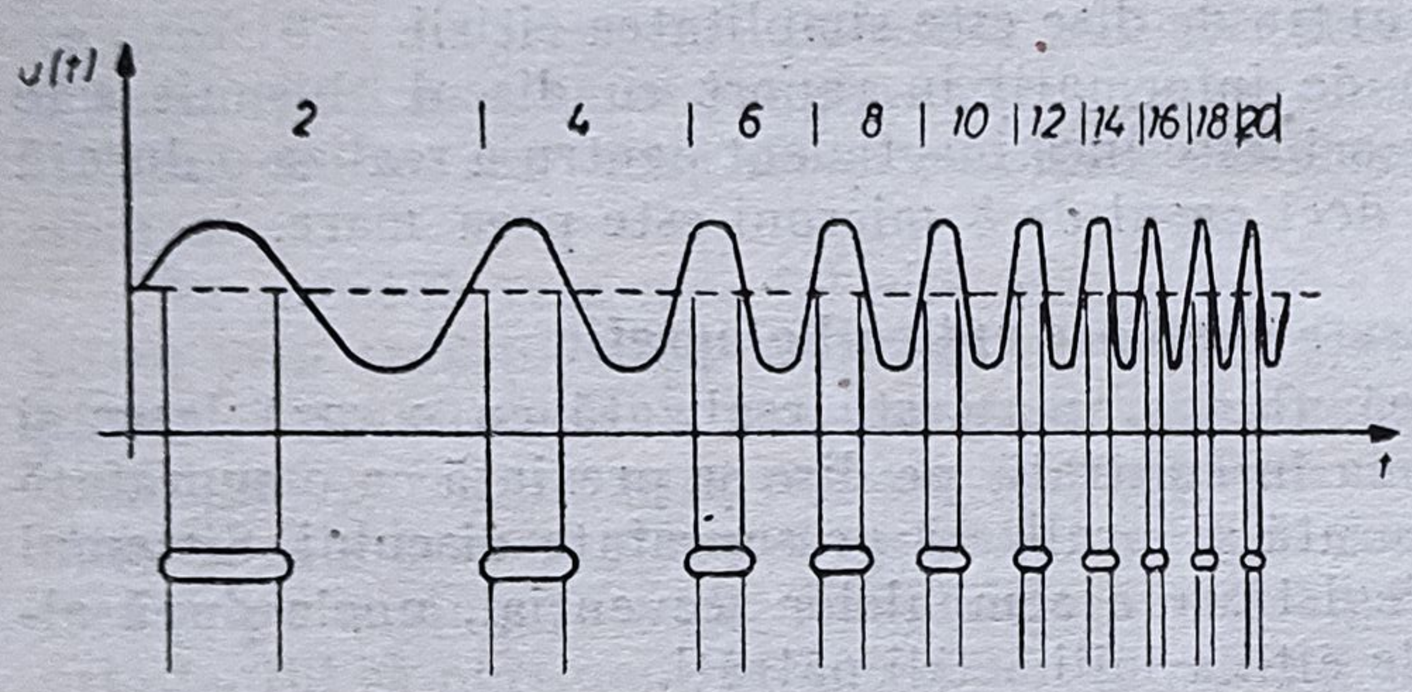


Fig. 10.22. Reprezentarea unui semnal modulat și imaginea alveolelor produse de raza laser modulată în frecvență.

Semnalul audio este mai întîi transpus în MIC și transformat în impulsuri 0 sau 1, care modulează în frecvență o purtătoare, sistemele concrete diferind însă de la o firmă la alta. Modulația în frecvență, necesară pentru semnalele de televiziune, *nu este obligatorie pentru semnalele audio MIC* și de aceea apar un număr nelimitat de posibilități de codificare care, nefiind standardizate, creează numeroase dificultăți de compatibilitate a sistemelor de înregistrare și redare.

Gravarea discurilor se face printr-un laser cu fascicolul modulat de semnalul transpus în modulație de frecvență. Discul *original* este, de exemplu, din sticlă pe care s-a depus un strat fotosensibil. Pe această peliculă modulația este transpusă în alveole (fig. 10.23). În alte procedee (Bosh) puterea laserului (200 mW) este folosită pentru topirea (evaporarea) unui strat metalic de 500 Å (1 Å $= 10^{-10}$ m), depus pe disc. În acest caz nu apar diferențe de

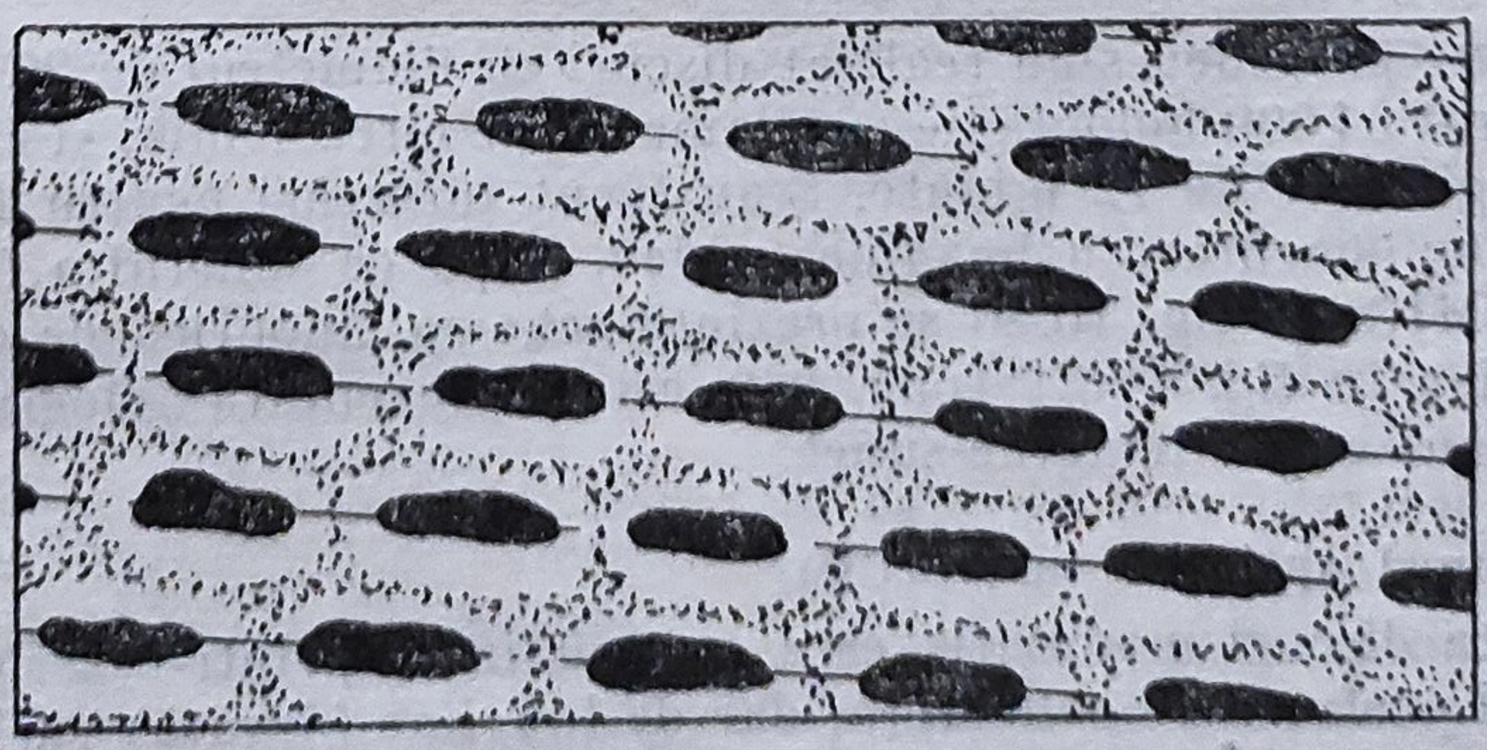


Fig. 10.23. Reprezentarea alveolelor aflate pe spiralele de înregistrare ale discului.

grosime ci doar diferenţă de transparenţă. În mod normal, lărgimea alveolelor este de ordinul a 0,6—0,8 microni, iar profunzimea de aproximativ 0,16 microni.

Lungimea şi spaţiul dintre alveole variază numai în cazul în care semnalul este modulat. Pasul între rile variază de la un disc la altul între 2 şi 4 microni. Profunzimea de 0,16 microni este comparabilă cu rugozitatea discului presat, care este de ordinul a 0,01 microni.

Discul finit se obţine printr-o suită de operaţiuni de galvanoplastie şi de presare, care sînt identice cu cele folosite pentru discurile mecanice, dar care se prezintă în variante diferite în funcţie de modul de citire : prin transparenţă, prin reflexie sau prin variaţia capacităţii. La primele două variante atît înregistrarea cît şi citirea se fac *optic*, iar la ultima înregistrare se face optic iar citirea este *electrostatică*.

Sistemele optice au în comun dispozitive de aservire externă, care printr-un sistem complex de urmărire, schiţat în fig. 10.24, asigură citirea informaţiei; viteza de rotaţie a discului, de la început la sfîrşit, trebuie să asigure o citire constantă.

La sistemele de înregistrare MIC sau video dispunem tot timpul înregistrării de o bază de timp care însoţeşte semnalul de înregistrare şi această bază de timp, care asigură sincronizarea, poate servi şi motorului de antrenare, pentru a avea o viteză liniară constantă la citire.

Citirea electrostatică

Această formulă s-a dezvoltat la RCA în 1975 pentru realizarea unui disc video şi a fost reluată de JVC, care a prezentat în 1978 un disc audio de acest gen.

Înregistrarea este făcută cu laser, ca pe discurile optice, diferenţele provenind din faptul că citirea se face electrostatic. Cititorul stă pe suprafaţa discului prin intermediul unei patine de safir pe a cărei suprafaţă este aplicată o foiţă metalică subţire.

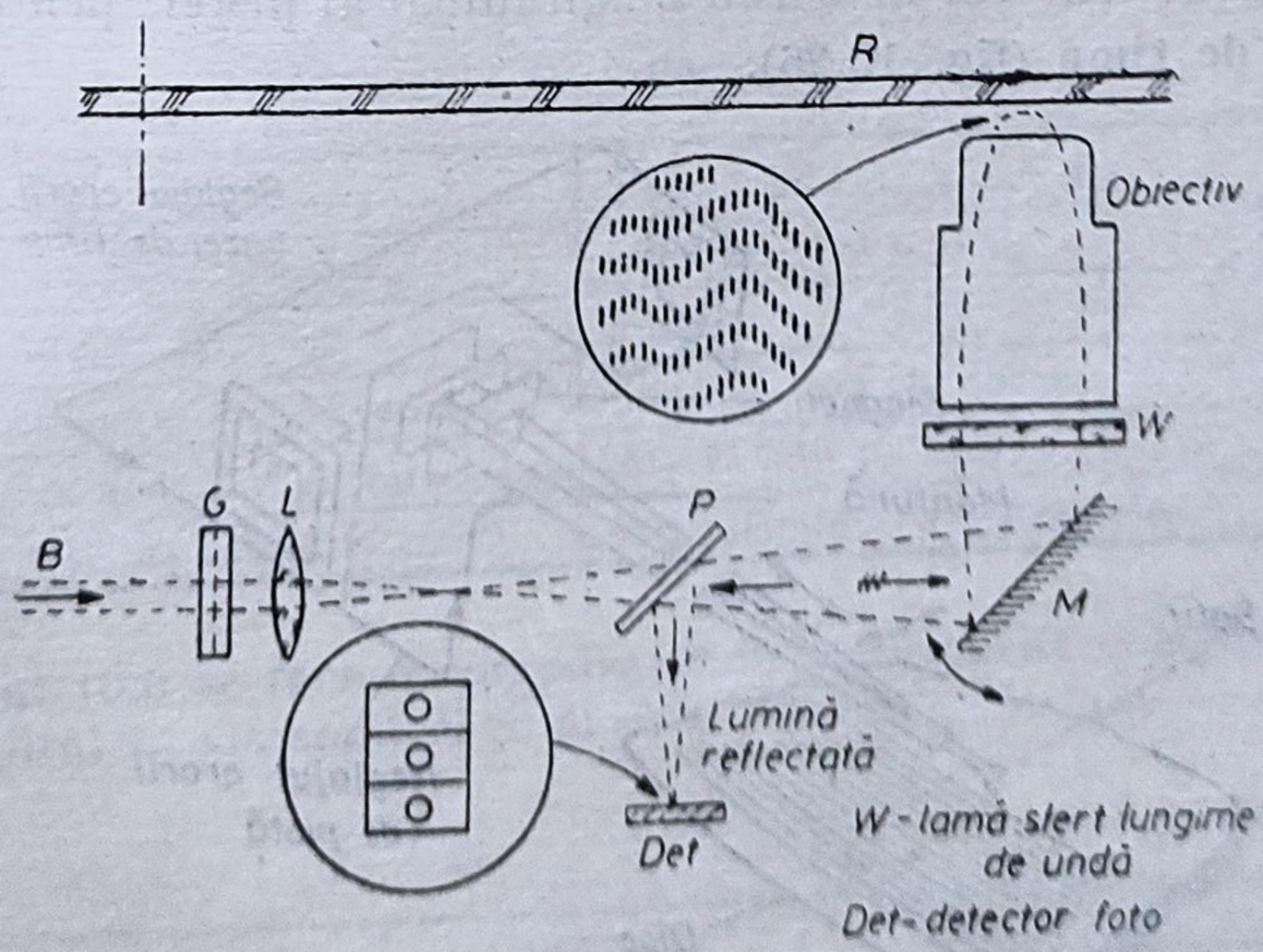


Fig. 10.24. Schema de citire a discului cu rază laser : discul *R* se citeşte prin partea superioară. Lentila *L* focalizează fasciculul laser *B* la lentila obiectivului; *P* este oglinda polarizată, *M* — oglindă pivotantă pentru potrivirea pistei.

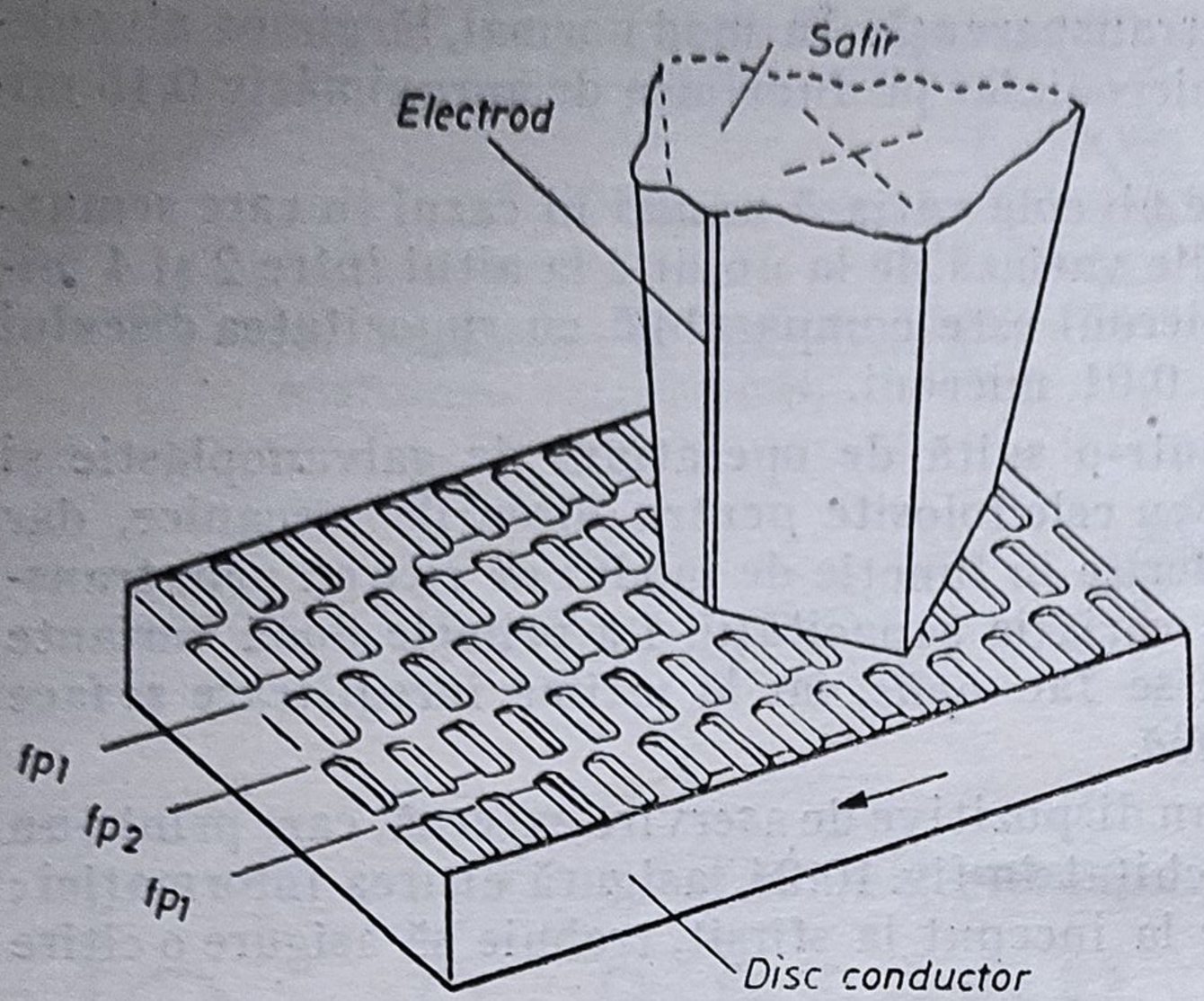


Fig. 10.25. Schema cititorului electrostatic JVC: alveolele longitudinale f_{p1} și f_{p2} sînt folosite pentru producerea semnalului de eroare care menține cititorul pe pistă.

Discul, la rîndul său, este metalizat și se aplică o tensiune între disc și foița metalizată a cititorului. Variația distanței între cei doi electrozi provoacă o variație de capacitate de ordinul a $3{,}5 \cdot 10^{-16}$ farazi. Dacă acest condensator este înseriat într-un circuit oscilant al unui oscilator UHF (900 MHz), se constată ușor că el va culege un semnal corespunzător semnalului gravat pe disc (fig. 10.25).

La început alveolele gravate erau situate pe un fel de silon destinat a conduce patina de safir. Deoarece această soluție n-a fost destul de precisă, s-a anunțat că JVC gravează în același timp cu alveolele transversale, dar în sensul longitudinal al spiralei, semnale pilot destinate să mențină capul cititorului pe pistă. Suprafața discului este plană, cititorul poate fi pus oriunde pe suprafață și acesta se centrează automat pe pistă. O altă pereche de bobine poate mișca cititorul în sensul longitudinal al pistei, pentru a corecta erorile bazei de timp (fig. 10.26).

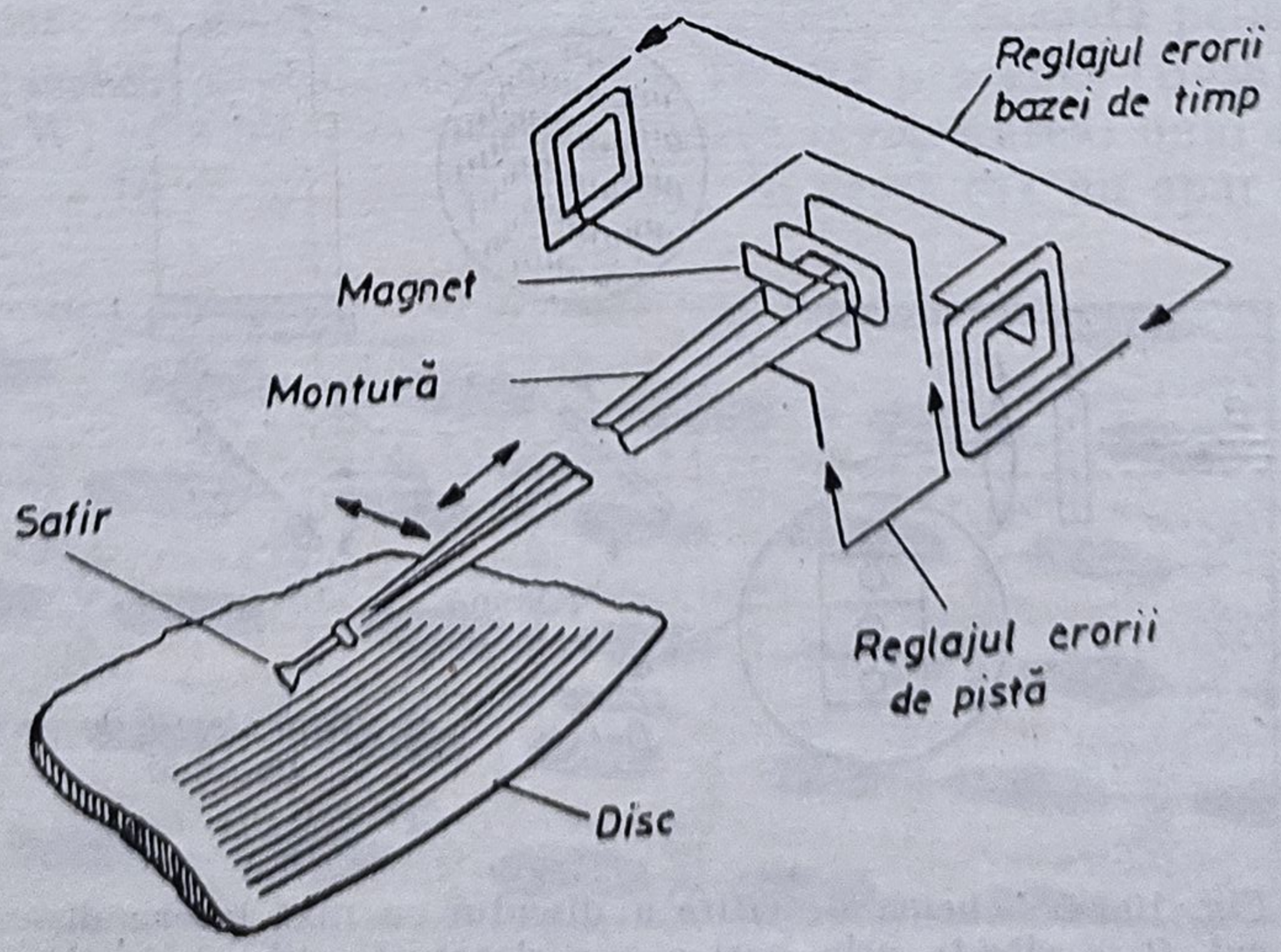


Fig. 10.26. Sistemul de aservire al cititorului pe spira gravată și corecția de timp.

Avantajul sistemului electrostatic cu contact direct pe disc este simplificarea dispozitivelor de aservire complexe care există la discul optic. În același timp, se vede că acestea nu pot fi eliminate complet. Din contră, contactul direct folosește în același timp discul și patina cititorului.

Acest disc are un diametru de 300 mm, are o durată de înregistrare de o oră pe față, cu viteza de rotație de 900 turații/minut (corespunzător frecvenței rețelei de 60 Hz).

Pasul dintre spire (rile) este de 1,4 microni. Durata de viață a discului este estimată la 10 000 citiri și cea a safirului la 2 000 ore. Performanțele discului cu citire electrostatică sînt de același ordin de mărime cu ale discului optic.

D. **Discul magnetic**

Discul cu înregistrare magnetică a apărut și dispărut de mai multe ori în decursul anilor, aceasta demonstrînd că punerea la punct a sistemului nu este încă satisfăcătoare.

Un astfel de sistem are calitatea comparabilă cu a discurilor optice și pe deasupra are avantajul de a da utilizatorului posibilitatea de a șterge discul și a-l refolosi din nou pentru altă înregistrare. Cu toate acestea, producția industrială a discului magnetic înregistrat nu va fi niciodată la fel de rapidă și eficientă ca aceea a discului gravat.

În unele realizări, începînd din 1975, discul magnetic are un șanț ce servește ca ghid unui safir solidar cu capul magnetic. Pasul între rile este de 28 microni, durata unei fețe de 15 minute, durata de viață a capului magnetic, ca și cea a discului, de cca. 300 ore.

E. **Rezumatul caracteristicilor, avantajelor și inconvenientelor**

După cum rezultă din prezentarea anterioară, discurile optice sau optico-electrostatice sînt folosite din ce în ce mai mult în audiofrecvență.

Tabelul 10.5

Performanțele discurilor digitale optice

Banda de frecvență	2 Hz — 20 kHz ± 0,5 dB
Distorsiuni armonice	inferioare lui 0,01%
Diafonie între căi	nulă
Fluctuație de frecvență	precizia dată de quartz
Durata de înregistrare	30—75 min pe față
Viteza de rotație	750 rot/min — 1 500 rot/min

În tabelul 10.6 se face o comparație între discurile compacte optice înregistrate digital în sistemul MIC și cele clasice.

Tabelul 10.6

Caracteristica	Disc MIC	Disc clasic
0	1	2
Zgomot de fond	imperceptibil	perceptibil pînă la supărător

Tabelul 10.6 (continuare)

0	1	2
Zgomot de fond datorat rotației discului	imperceptibil	perceptibil pînă la supărător
Distorsiuni de citire	nule	destul de perceptibile pînă la supărător
Distorsiuni armonice	foarte mici	mari la frecvențe ridicate
Diafonie	nulă	25—30 dB
Fluctuația de frecvență	precizia dată de quartz	0,05% putînd atinge 0,3%
Fabricația	foarte delicată	simplă
Fragilitatea	mică	moderată
Uzura : disc cititor	nulă nulă	100 audiții 1 000 ore (diamant)

În tabelul 10.7 se prezintă o altă comparație.

Tabelul 10.7

Comparație CD — bandă magnetică

Caracteristica	Disc MIC	Banda magnetică
Acces la o secvență înregistrată	imediat	timp relativ lung (pentru bobinare)
Înregistrarea prin refolosire	posibilă la unele sisteme recente	da
Timp de fabricație	foarte scurt (se cifrează în secunde)	foarte lung (deoarece nu se poate face decît în timp real)
Preț de redare	în jur de 5 ori mai mic față de magnetofon	nu există decît magnetofon, care este scump
Uzura	nulă pentru discul optic	uzura benzii și a capului
Materiale primare	clorură de vinil, ieftină	bandă magnetică, scumpă

Din analiza datelor de mai sus reținem că la înregistrările pe disc compact MIC dispar practic total zgomotul și distorsiunile. Rezultă o audiție foarte clară, comparabilă cu audiția directă în sala de concert. Trebuie precizat că aceste ameliorări se datorează folosirii sistemului digital MIC și nu tehnologiei de fabricație a discului compact.

F. Aparat de redare pentru discuri compacte TEAC PD-450

Echipamentul PD-450 produs de firma japoneză TEAC este un lector de discuri compacte sofisticat, care asigură reproducerea înregistrărilor stereofonice de înaltă calitate. Pentru asigurarea calității programelor înregistrate se va evita plasarea aparatului în bătaia directă a razelor solare sau în apropierea surselor de căldură. De asemeni, se recomandă evitarea locurilor supuse vibrațiilor și căldurii excesive, surselor de zgomot (cum ar fi transformatoare sau motoare) precum și a surselor de praf și umezeală excesivă.

Nu se manipulează discurile cu degetele murdare și nu se introduc discuri care au crăpături sau zgîrieturi pe fața activă (discurile sînt înregistrate pe o singură față).

Pentru a întreține curată doza laser aceasta nu se atinge și nu se lasă deschisă portcaseta discului; pentru curățare se folosește numai o cîrpă moale, curată și uscată

Cînd lectorul sau discul compact a fost deplasat de la un loc rece la unul cald sau se folosește după o schimbare bruscă de temperatură există pericolul condensului. Vaporii de apă din aer se pot condensa pe mecanism sau pe doza laser. Dacă se formează picături de apă pe aceste părți ale echipamentului, reproducerea corectă va fi imposibilă deoarece laserul nu va citi corect informația de pe disc.

Pentru a preveni acest neajuns, în cazul în care se schimbă locul sau temperatura, echipamentul va trebui lăsat conectat la rețea și alimentat cca. 1—2 ore înainte de a fi folosit.

Minuirea discurilor

Echipamentul a fost proiectat special pentru reproducerea discurilor compacte ce poartă marcajul „*Compact disc digital audio*“ și nu poate reproduce nici-un alt tip de disc.

Discul compact se plasează întotdeauna în portdisc cu eticheta în sus, deoarece acesta poate fi redat numai pe o față. Pentru a scoate discul din portdisc se apasă în jos centrul portdiscului și se trage discul afară ținîndu-l cu grijă de margini.

Amprentele și praful trebuie șterse cu grijă de pe față înregistrată a discului cu o cîrpă moale. Spre deosebire de discurile convenționale, discul compact nu are șanțuri (rile) care să colecteze praf și resturi microscopice, astfel că prin ștergere ușoară cu o cîrpă moale, se îndepărtează cele mai multe particule de praf. Ștergerea se face printr-o mișcare dreaptă de la interior spre exteriorul discului. Particulele microscopice de praf și petele ușoare nu au nici un efect asupra calității reproducerii.

După folosire discurile trebuie păstrate în casetele originale pentru evitarea zgîrieturilor și ferindu-le de radiațiile solare, temperatură și umiditate.

Folosirea echipamentului PD-450

Conectarea echipamentului PD-450 la sistemul de ascultare audio se face numai după întreruperea alimentării de la rețea.

Se conectează canalele de ieșire ale echipamentului stînga (L) și dreapta (R) la sistemul de ascultare, verificînd corectitudinea corespondenței exacte a canalelor.

Pentru a pune aparatul în funcțiune se apasă pe butonul POWER iar pentru a-l opri se apasă din nou același buton. Dacă se pune în funcțiune aparatul avînd deja un disc încărcat, el începe să redea automat prima înregistrare.

Pentru încărcarea aparatului se deschide portdiscul apăsînd pe butonul OPEN/CLOSE, se pune discul în portdisc cu eticheta în sus și se apasă din nou același buton sau oricare din butoanele PLAY, PAUSE precum și oricare buton cifric de pe unitatea de comandă la distanță, și portdiscul cu discul se închide.

Echipamentul PD-450 are încorporat un senzor care primește semnale în infraroșu transmise de unitatea de comandă RC 308.

Pentru a se cunoaște în orice moment starea de funcționare, echipamentul dispune de un sistem de afișaj multifuncțional, care arată :

A. REDARE(PLAY); PAUZĂ (PAUSE)
B. DISC INTRODUS (DISC IN)
C. PISTA (TRACK) — numărul pistei
D. INDEX — dacă discul este indexat sau nu
E. REPEAT/ALL — cînd o comandă se repetă
F. AUTO SPACE
G. PGM — ordinea melodiilor programate
H. TOTAL REM TIME — indicatorul de timp și de mod.

Comenzi :

PAUSE — întrerupe redarea
STOP — întrerupe redarea și anulează toate funcțiunile programate
SEARCH — repede înainte sau înapoi
PLAY — pornește redarea
REPEAT — melodia curentă va fi repetată

AUTO SPACE — se creează spaţii goale de cca. 4 sec între melodii
TIME — prin apăsare schimbă aprinderea ciclică a indicaţiilor în ordinea următoare.
TOTAL REM TIME — arată timpul ce a mai rămas pînă la sfîrşitul întregului disc.
REM TIME — arată timpul ce a mai rămas pînă la sfîrşitul melodiei curente.
MEMORY — memorează numerele de ordine ale melodiilor selectate cu butonul MUSIC SKIP

MUSIC SKIP — mişcarea rapidă înainte sau înapoi pînă la începutul melodiei următoare sau anterioare.

Dacă se apasă încă o dată, doza sare din nou înainte sau înapoi la melodiile următoare aşa mai departe.

Redarea programată

Funcţia de redare programată permite programarea a pînă la 20 melodii în orice ordin dorită. Programarea este posibilă numai în starea STOP a aparatului.

• În timpul redării programate cînd se apasă butonul STOP, aparatul se va opri şi conţinutul programului se şterge. În timpul redării programate se poate verifica conţinutul programului apăsînd butonul CHECK. De asemeni, se poate interveni în program ştergînd unele melodii, pe care le putem înlocui cu altele, sau se poate schimba ordinea de redare a acestora.

Echipamentul are capacitatea de a înmagazina în memorie toate operaţiile, care se execută manual pe panoul frontal, sau la tastatura echipamentului de telecomandă, care în continuare pot fi executate prin programul stabilit.

Datele tehnice ale aparatului TEAC PD-450

DISC:
— timp de redare — aproximativ 60 minute
— diametrul — 120 mm
— viteza de citire — 1,2—1,4 m/s
— înălţimea pistei — 1,6 μm

CARACTERISTICI AUDIO:
— număr de canale — 2
— banda de frecvenţă — 20—20 000 Hz ± 0,5 dB
— raportul semnal/zgomot — mai bun de 95 dB (1 kHz)
— gama dinamică — mai bună de 93 dB (1 kHz)
— distorsiuni armonice — 0,005% (1 kHz).

DOZĂ:
— tip laser optic cu 3 fascicule
— sistemul de acţionare a lentilelor obiectivului: dublu dimensional cu acţionare paralelă
— tipul de laser — semiconductor AlGaAs
— lungimea de undă — 780 μm

FORMATUL SEMNALULUI:
— conector digital analogic cu 11 biţi liniare
— corecţia de eroare — CIRC
— frecvenţa de eşantionare — 44,1 kHz
— codul de modulaţie al canalului — EFM

GENERALE:
— reţea 120/220/240 V; CA 50/60 Hz
— consum 10 W
— dimensiuni 435 × 116 × 28 mm.
— greutate 3,8 kg

Capitolul 11

Radiodifuzarea şi radlorecepţia programelor stereofonice

11.1. DEZVOLTAREA RADIODIFUZIUNII

Ideea utilizării practice a undelor herțiene aparține fizicianului și electrotehnicianului rus Alexandr Stepanovici Popov. El a presupus și apoi a demonstrat posibilitatea folosirii acestor unde în comunicațiile fără fir la distanță (telegrafia cu fir era cunoscută din 1832 iar telefonia cu fir din 1876).

Aparatul construit de Popov în 1895 avea toate elementele necesare unui radioreceptor și putea fi foarte bine folosit la recepționarea semnalelor telegrafice. La 7 mai 1895, Popov face primele transmisii de telegrafie fără fir în fața membrilor Societății de Fizică din Petersburg (Leningrad). În anul următor, 1896, Popov prezintă în amfiteatrul de fizică al universității din Petersburg, în fața membrilor societății ruse de fizică și chimie, receptorul său îmbunătățit, cu ajutorul căruia realizează o transmisie radiotelegrafică pe o distanță de 250 m, ca în anul 1897 să realizeze o transmisie pe o distanță de 5 km.

Independent de A. S. Popov, fizicianul italian G. Marconi desfășoară o rodnică activitate în domeniul radiotransmisiilor. El obține în anul 1896 primul brevet de invenție în domeniul transmisiei electrosemnalelor (brevetul înregistrat în Anglia sub nr. 12 039). Printr-un emițător și un receptor de unde realizat de Marconi în anul 1896 se realizează prima transmisie de telegrafie fără fir. Un an mai tîrziu (1897), aflat în Anglia, Marconi transmite prin telegrafie fără fir semnale la distanța de 15 km, între Lavernock Point și insula Flatholm, iar la 28 martie 1899 reușește să stabilească legătura peste Canalul Mînecii, la o distanță de 40 km. Doi ani mai tîrziu el a realizat prima transmisie peste oceanul Atlantic, la o distanță de peste 4 000 km.

Un rol important în dezvoltarea transmisiilor radio l-a avut detectorul cu cristal (la început de galenă) inventat în anul 1901 de K. F. Braun, iar apoi dioda — primul tub electronic modern — inventată în 1904 de fizicianul englez Sir John Ambrose Fleming, care a înlocuit coherorul. Descoperirea care a dus la crearea radiodifuziunii moderne a fost cea a triodei (tub electronic cu trei electrozi) în anul 1906, de către inginerul american Lee De Forest.

Epoca radioului începe odată cu crearea unui sistem de emisiuni radiofonice pentru public, adică cu realizarea radiodifuziunii.

Cînd și cum a început radiofonia în România ? La noi, scria profesorul Dragomir Hurmuzescu, în noiembrie 1939, primele recepțiuni au fost realizate cu mijloace experimentale și prin personalul secțiunilor de radiotelegra-

fie ale institutului Electrotehnic Universitar. La finele anului 1924 primul post de recepție asigura audiții publice. Pasul următor însemna trecerea de la audiții la emisii. Prima transmisie a avut loc în vara anului 1925 cu prilejul Lunii Bucureștiului.

În ianuarie 1928 ia naștere Societatea de difuziune radioelectrică în România a cărei activitate legală începe în luna martie. Astfel, la 1 noiembrie 1928 — joi ora 17,00 se inaugurează postul național de radio.

În 1989 România avea în funcțiune 111 stații de emisie cu o putere instalată de 9502 kW, din care o stație în banda undelor lungi, 39 stații în banda undelor medii, 10 stații în banda de unde scurte și 61 stații în banda undelor metrice.

11.2. DIFUZAREA PROGRAMELOR DE RADIO DE ÎNALTĂ CALITATE ÎN MF

Mijloacele tehnice pentru transmiterea, difuzarea și recepția programelor de radio s-au dezvoltat foarte mult în ultimele trei-patru decenii, reușind să satisfacă din ce în ce mai bine exigențele crescute ale ascultătorilor față de calitatea tehnică a acestora.

Cu toată dezvoltarea care a avut loc, atît ca număr de stații de emisie cît și ca puteri instalate, calitatea tehnică a recepției programelor de radio în benzile de unde lungi și medii este afectată permanent de perturbatorii atmosferici și industriali, care predomină în special în zonele urbane, precum și de interferențele cu alte stații de emisie străine care emit pe aceeași frecvență sau pe canalele adiacente.

Un mare nejuns al transmiterii programelor de radio în benzile de unde lungi și medii este acela că, pentru evitarea interferențelor, banda audio transmisă nu poate fi mai mare de 4,5 kHz sau, în unele cazuri, 9 kHz. În această situație, în banda de unde lungi nu por funcționa, fără a se perturba reciproc, mai mult de 10 stații, amplasate pe teritoriu în limita zonelor de acoperire ale fiecărei stații sau, în banda de unde medii, aproximativ 150 de stații.

Pentru înlăturarea acestor inconveniente, se acordă o atenție deosebită instalării de stații de emisie în banda undelor metrice — unde ultrascurte UUS — cuprinsă între 66 și 73 MHz (OIRT).

Transmiterea și recepția programelor de radio în banda undelor metrice asigură audiției o calitate înaltă, datorită avantajelor pe care le are modulația de frecvență (MF) :

— prin transmiterea unei benzi largi de frecvențe, cuprinzînd frecvențele între 30 Hz și 15 kHz, se acoperă aproape tot spectrul perceput de auzul uman :

— sistemul de modulare folosit la emițător și cel de demodulare folosit la receptor permite transmiterea și recepția unui semnal cu distorsiuni foarte mici, sub 2%, care practic nu sînt perceptibile de către ureche ;

— în aceste benzi de frecvență perturbațiile datorate unor stații de emisie îndepărtate nu sînt posibile decît în situații cu totul accidentale ;

— de asemenea, există posibilitatea eliminării paraziților atmosferici și a unor categorii de paraziți industriali care modulează în amplitudine semnalul recepționat, prin introducerea unui sistem de limitare a amplitudinii la receptorul de radio ;

— un alt mare avantaj al modulației de frecvență este posibilitatea accentuării (ridicării) la emisie a nivelului semnalului pentru frecvențele mai ridicate și reducerea nivelului frecvențelor înalte, la recepție, prin dezaccentuare, la nivelul corespunzător de la transmisia semnalului ;

— deoarece amplitudinea semnalului modulat în frecvență rămîne constantă, încărcarea emițătorului este constantă, spre deosebire de modulația în amplitudine, unde puterea instantanee în antenă variază pînă la de patru ori puterea nominală. Aceasta duce la utilizarea mai rațională și solicitarea constantă a instalațiilor și a tuburilor de la emițător ;

— în banda undelor metrice există posibilitatea de a utiliza antene cu cîștig mare, care prezintă avantajul folosirii emițătoarelor de putere redusă ;

— în sfîrșit, cel mai mare avantaj al transmiterii programelor de radio în banda undelor metrice îl constituie faptul că *numai stațiile modulate în frecvență din această bandă au posibilitatea de a transmite programe stereofonice pe două sau mai multe canale, asigurînd, în același timp, compatibilitatea recepționării acestor programe de către orice radioreceptor monofonic.*

11.3. PRINCIPIUL RADIODIFUZIUNII STEREOFONICE

Pentru stabilirea celui mai bun sistem de radiodifuziune stereofonică s-au făcut mai multe experimentări, în decursul anilor, și s-au concluzionat avantajele și dezavantajele fiecărui sistem. Pentru a putea aprecia calitatea unui sistem, în cadrul CCIR s-au stabilit anumite criterii care trebuie satisfăcute de un sistem de radiodifuziune stereofonică. Astfel, în principal, se urmărește ca :

— sistemul să fie *compatibil*, adică recepționarea semnalului unui emițător modulat stereofonic cu ajutorul unui radioreceptor monofonic obișnuit să se realizeze fără a avea o reducere a calității în raport cu cazul recepționării unei emisiuni monofonice. De asemenea, recepția semnalului transmis de un emițător monofonic cu ajutorul unui radioreceptor stereofonic se va realiza păstrînd cel puțin aceeași calitate ca și în cazul unui radioreceptor monofonic ;

— sistemul să permită realizarea unei atenuări de diafonie bune, astfel încît să se obțină o recepție de înaltă calitate ;

— zona de deservire a unui emițător în cazul unei transmisii stereofonice să fie redusă cît mai puțin în comparație cu cazul unei transmisii monofonice ;

— introducerea sistemului de radiodifuziune stereofonică să nu necesite modificări în planul de alocări de frecvențe, adică lărgimea de bandă în cazul emisiunii stereofonice să nu difere mult de cea din cazul emisiunii monofonice

— protecția contra perturbațiilor, necesară în radiodifuziunea stereofonică, să fie cît mai apropiată de cea din radiodifuziunea monofonică, iar emisiunea stereofonică să nu producă perturbații în recepția altor stații ;

— radioreceptoarele destinate recepției emisiunilor stereofonice să nu fie complicate sau scumpe, iar radioreceptoarele monofonice existente să fie ușor adaptabile pentru a permite și recepția emisiunilor stereofonice ;

— calitatea emisiunilor stereofonice recepționate cu un radioreceptor să se apropie de calitatea înregistrărilor pe discuri și bandă magnetică.

O primă soluție care se impune în rezolvarea problemei transmiterii celor două semnale stereofonice este de a folosi două căi independente. Analiza acestei soluții conform criteriilor enunțate anterior arată că ea prezintă numeroase inconveniente, astfel că au fost preconizate diferite sisteme care

utilizează o singură cale de transmisie. Se poate face o împărţire a metodelor de realizare a unei transmisii stereofonice luînd drept criteriu tipul de modulaţie

— sisteme cu modulaţie de amplitudine dublă ;
— sisteme cu modulaţie dublă, simultană în amplitudine şi în frecvenţă ;
— sisteme utilizînd un semnal multiplex în domeniul frecvenţei ;
— sisteme utilizînd un semnal multiplex în domeniul timp.

Efectuînd analiza comparativă a acestor sisteme, rezultă că sistemul cu semnal multiplex în domeniul frecvenţei corespunde în cea mai mare măsură condiţiilor enunţate.

Audiţia strereofonică presupune o bună calitate a transmisiunii, ceea ce impune distorsiuni scăzute pentru semnalul transmis precum şi transmiterea întregii benzi audio. Condiţii bune pentru realizarea acestor cerinţe prezintă radiodifuziunea cu *modulaţie de frecvenţă*. Deoarece ambele informaţii stereofonice, stînga, $A(t)$, şi dreapta $B(t)$, conţin acelaşi spectru de frecvenţă audio (30 Hz—15 kHz), trebuie să facem o translaţie a unuia din canale astfel ca spectrul lor să nu se suprapună. Translatarea spectrului uneia din cele două informaţii audio se face cu ajutorul unei subpurtătoare modulate.

După *tipul de modulaţie* a subpurtătoarei utilizat, sistemele cu semnal multiplex în domeniul frecvenţei se împart în :

a) sisteme cu subpurtătoare modulată în frecvenţă ;
b) sisteme cu subpurtătoare modulată în amplitudine ;
c) sisteme cu modulaţie în amplitudine, cu subpurtătoare suprimată ;
d) sisteme cu modulaţie în amplitudine, cu bandă laterală unică.

În urma experimentărilor şi analizei acestor sisteme au rezultat ca avantajoase sistemele cu modulaţie în amplitudine cu subpurtătoare suprimată. Cele două variante utilizate pe scară largă în momentul de faţă sînt :

— sistemul multiplex cu frecvenţă pilot ;
— sistemul cu modulaţie polară.

Aceste sisteme sînt recomandate de către CCIR pentru a fi aplicate în exploatare, sistemul cu frecvenţă pilot fiind adoptat de marea majoritate a ţărilor care au introdus radiodifuziunea stereofonică.

11.3.1. ANALIZA SEMNALULUI MULTIPLEX STEREO CU FRECVENŢĂ PILOT

Mai sus s-a arătat că un sistem de radiodifuziune stereofonică transmite simultan două semnale la ascultător, ambele semnale avînd spectru de frecvenţă cuprins între 30 Hz şi 15 kHz. Pentru a ocupa un singur canal de radiodifuziune, se translatează spectrul unuia din cele două semnale în regiunea imediat superioară spectrului de frecvenţe audio. De fapt, sistemul real, pentru a realiza condiţia de compatibilitate, nu transmite informaţia din canalul dreapta şi canalul stînga, ci *suma* şi *diferenţa* lor.

Notăm suma, respectiv diferenţa, informaţiilor cu :

$$M(t) = \frac{A(t) + B(t)}{2} \tag{11.1}$$

şi

$$S(t) = \frac{A(t) - B(t)}{2} \tag{11.2}$$

în care $A(t)$ reprezintă informaţia audio din canalul *stînga*, iar $B(t)$ informaţia audio din canalul *dreapta*.

Translatarea spectrului semnalului diferență $S(t)$ se face cu ajutorul unei modulații liniare.

Pentru reducerea la minimum a deviației de frecvență auxiliare, alocate subpurtătoarei, se recurge la o modulație de amplitudine *cu subpurtătoare suprimată*, astfel că o primă expresie a *semnalului multiplex* va fi :

$$u(t) = M(t) + S(t) \sin \omega_s t \tag{11.3}$$

în care $\omega_s/2\pi$ este frecvența subpurtătoarei.

Din examinarea relațiilor (11.1) și (11.2) rezultă că cele două semnale $M(t)$ și $S(t)$ au variații inverse, astfel că în cazul în care $M(t)$ este maxim $S(t)$ va fi minim (0) și relația (11.3) devine

$$u(t) = M(t) \tag{11.4}$$

Pentru valoarea minimă a lui $M(t)$, la vîrf de modulație (cînd $\sin \omega_s t = 1$) relația (11.3) devine

$$u(t) = S(t) \tag{11.5}$$

Raportul amplitudinilor celor două semnale modulatoare poate fi păstrat egal și deci

$$\frac{S(t)_{max}}{M(t)_{max}} = 1 \tag{11.6}$$

La recepție, pentru a putea face o demodulare corectă este necesară refacerea subpurtătoarei suprimate la emisie, astfel că semnalul multiplex va conține și o *frecvență pilot* cu ajutorul căreia se obține *faza* corectă a subpurtătoarei. Expresia analitică completă a semnalului care modulează în frecvență purtătoarea de înaltă frecvență (deci a *semnalului multiplex*) va fi

$$u_m(t) = M(t) + S(t) \sin \omega_s t + P \sin \frac{\omega_s t}{2} = M(t) + S^*(t) + P(t) \tag{11.7}$$

unde $S^*(t) =$ semnalul $S(t)$ translatat $= S(t) \sin \omega_s t$

$P(t) = P \sin \frac{\omega_s t}{2} =$ semnal pilot.

Parametrii recomandați de către CCIR pentru semnalul de radiodifuziune stereofonică cu frecvență pilot sînt :

Canal principal $M(t)$

a) semnalul de modulație : $A(t) + B(t)$
b) preaccentuarea : 75 μs sau 50 μs
c) gradul de modulație al subpurtătoarei de înaltă frecvență : $0{,}9\Delta f_{max}$.

Canalul subpurtătoarei suprimate $S^*(t)$

a) semnal de modulație : $A(t) - B(t)$
b) preaccentuarea : 75 μs sau 50 μs
c) gradul de modulație al subpurtătoarei de înaltă frecvență : $0{,}9\Delta f_{max}$
d) frecvența subpurtătoarei : 38 kHz ± 4 Hz.
e) rest de subpurtătoare maxim admisibil : $0{,}01\ \Delta f_{max}$

Pilotul

a) frecvența pilotului : 19 kHz ± 2 Hz
b) gradul de modulație : 0,08 ÷ 0,1 Δf_{max}.

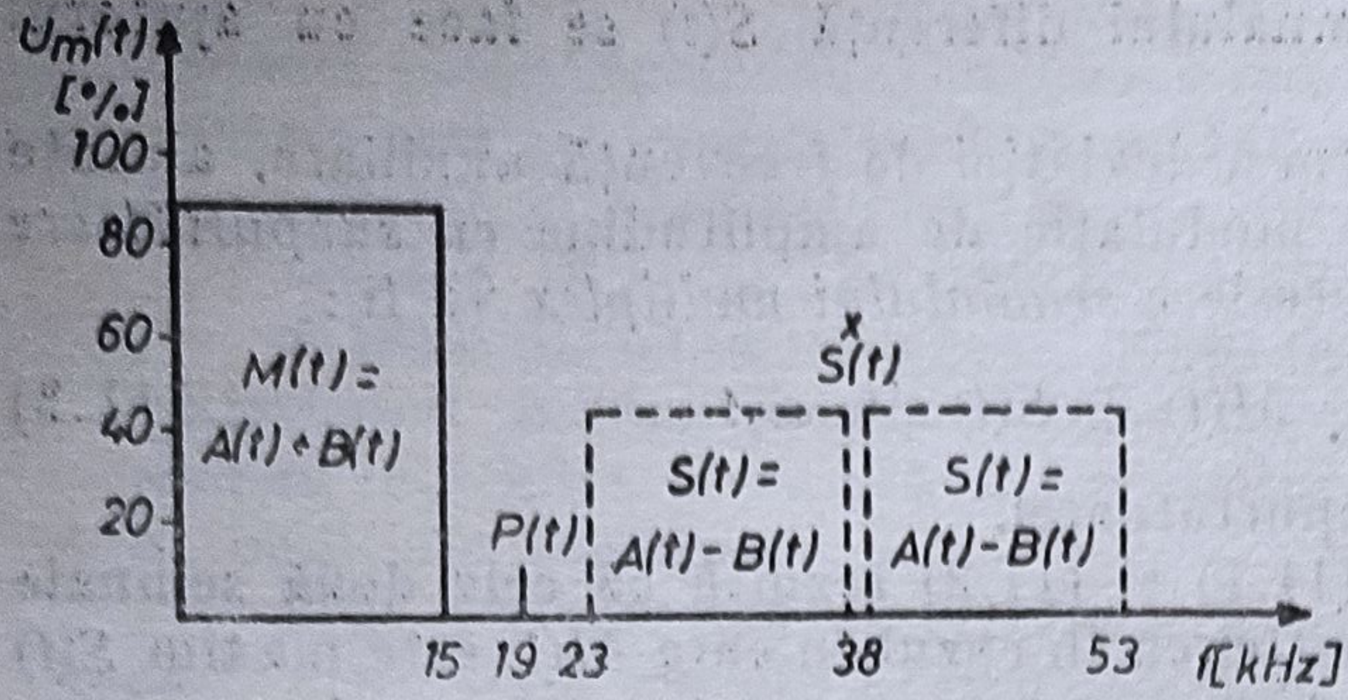


Fig. 11.1. Reprezentarea grafică a semnalului multiplex stereo cu frecvență pilot.

În fig. 11.1 s-a reprezentat grafic semnalul multiplex stereo dat de relația (11.7) ai cărui parametrii sînt în conformitate cu recomandarea CCIR.

Sînt reprezentate simultan cele două cazuri limită în care deviația de frecvență produsă de semnalul multiplex este maximă, și care corespund relațiilor (11.4) și (11.5).

Semnalul modulat în frecvență de către semnalul multiplex stereo va avea expresia

$$e_{MF}(t) = U_o \sin\left\{\omega_0 t + \left[0{,}9\,\Delta\omega_{max}\left(\frac{\Delta\omega_{M(t)}}{\Delta\omega_{max}} + \frac{\Delta\omega_{S(t)}}{\Delta\omega_{max}}\sin\omega_s t\right) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + 0{,}1\,\Delta\omega_{max}\sin\frac{\omega_s t}{2}\right] t\right\} \qquad (11.8)$$

în care :

$\Delta\omega_{M(t)}$ este deviația de frecvență produsă de semnalul principal $M(t)$, $\Delta\omega_{S(t)}$ este deviația de frecvență produsă de semnalul diferență $S(t)$.

Condiția de *compatibilitate* este îndeplinită în cadrul acestui sistem în felul următor : în cazul unei transmisiuni stereofonice și al unei recepții monofonice, radioreceptorul elimină frecvențele superioare gamei audio filtrul trece-jos care urmează după demodulator ; în cazul recepției stereofonice a unei emisiuni monofonice recepția se face în mod normal, ca și în cazul unui radioreceptor monofonic.

În cazul unei transmisiuni stereofonice are loc și o mărire a lărgimii de bandă B față de o transmisiune monofonică. Lărgimea de bandă ocupată de un semnal modulat în frecvență cu un semnal multiplex se poate calcula cu relația

$$B = 2(1 + \beta + \sqrt{\beta}) \cdot f_{max} \qquad (11.9)$$

unde f_{max} este frecvența maximă de modulație, iar $\beta = \frac{\Delta f}{f_{max}}$ l indicele de modulație.

Cazul cel mai defavorabil apare atunci cînd $A(t) = -B(t)$ iar frecvența este de 15 kHz. În acest caz frecvența maximă de modulație va fi 53 kHz și va produce o deviație de frecvență 0,45 Δf_{max}. Pentru $\Delta f_{max} = 50$ kHz va rezulta $B = 220$ kHz, față de 180 kHz în cazul unei emisiuni monofonice obișnuite. Această creștere a lărgimii de bandă nu este prea mare și de aceea nu necesită o modificare a planului de repartiție a frecvențelor emițătoarelor de radiodifuziune de banda undelor metrice. Privit din punctul de vedere al recepției, o importanță deosebită se va acorda problemei zonei de serviciu a emițătorului precum și problemei diafoniei sistemului.

11.3.2. RAPORTUL SEMNAL/ ZGOMOT ÎN CAZUL TRANSMISIUNULOR STEREOFONICE

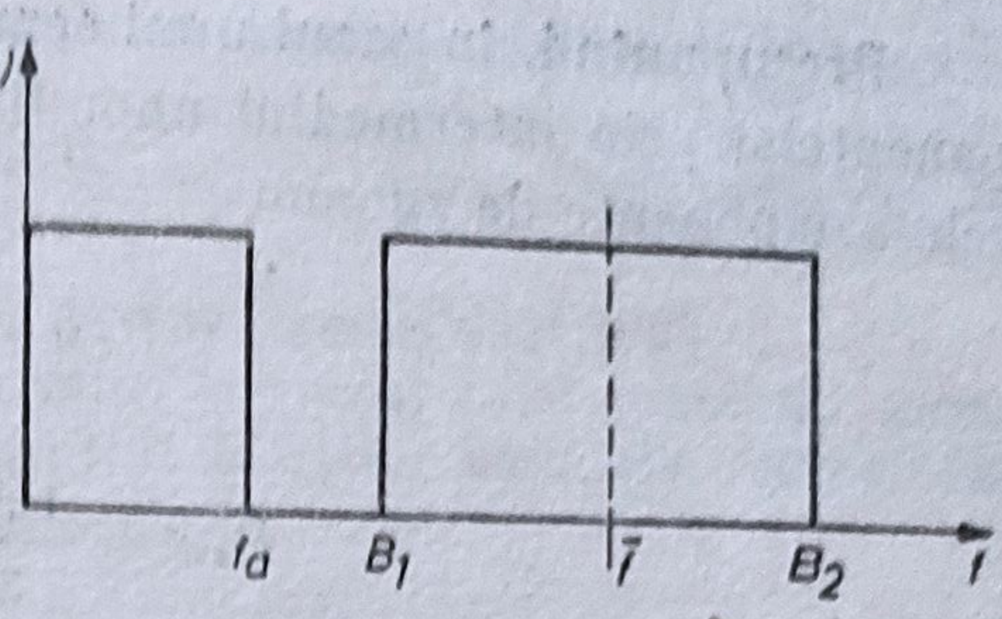


Fig. 11.2. Spectrul generalizat al unui semnal multiplex.

În cea mai mare măsură, modificarea zonei de serviciu a emiţătorului este legată de *modificarea raportului semnal/zgomot*. În cazul recepţiei monofonice a unei emisiuni stereofonice această modificare este doar de circa 1 dB şi se datoreşte reducerii la $0{,}9\Delta f_{max}$ a deviaţiei de frecvenţă maxime utile pentru un radioreceptor monofonic.

Pentru a calcula modificarea (reducerea) raportului semnal/zgomot în cazul unei recepţii stereofonice a semnalului, vom considera un semnal multiplex ca cel din fig. 11.2.

Semnalul modulat în frecvenţă care se aplică demodulatorului va fi de forma :

$$e_{MF}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + \beta \sin \omega_m t] \tag{11.10}$$

unde $\beta = \dfrac{\Delta\omega}{\omega_m}$, ω_m = frecvenţa de modulaţie.

La ieşirea demodulatorului MF vom obţine un semnal de forma :

$$u_m(t) = S_d \Delta\omega \cos \omega_m t \tag{11.11}$$

unde S_d este panta discriminatorului în origine.

Puterea normată pe o sarcină de 1Ω va fi

$$P_m = \frac{S_d^2(\Delta\omega)^2}{2} = 2\pi^2 S_d^2 (\Delta f)^2 \tag{11.12}$$

Vom nota cu N densitatea spectrală a zgomotului, densitate pe care o putem considera constantă în întreaga bandă de frecvenţă B a semnalului multiplex şi cu f_z frecvenţa componentelor de zgomot. Tensiunea eficace de zgomot la ieşirea demodulatorului va fi

$$e_z = 2\pi Z_0 \left[\int_{-B/2}^{B/2} \frac{N f_z^2}{U_0^2} df_z \right]^{1/2} \tag{11.13}$$

unde Z_0 este impedanţa de ieşire.

Puterea de zgomot normată pe o sarcină de 1Ω va fi

$$P_z = \frac{2\pi^2 S_d^2}{U_0^2} \int_{-B/2}^{B/2} N f_z^2 df_z = \frac{2\pi^2 S_d^2}{P_p} \int_{-B/2}^{B/2} N f_z^2 df_z \tag{11.14}$$

unde P_d este puterea purtătoarei MF, normată la 1Ω

Relaţia (11.14) poate fi scrisă şi sub forma

$$P_z = \frac{2\pi^2 S_d^2}{P_p} \left[\int_0^{B/2} N f_z^2 df_z + \int_{-B/2}^{0} N f_z^2 df_z \right] \tag{11.15}$$

Presupunînd, în cazul unui semnal multiplex, că avem o separare a componentelor prin intermediul unor filtre de bandă ideale, vom avea următoarele componente de zgomot

$$P_{zM} = \frac{4\pi^2 S_d^2 N}{3P_p} f_a^3, \tag{11.16}$$

$$P_{zS^*} = \frac{4\pi^2 S_d^2 N}{3P_p} (B_2^3 - B_1^3) \tag{11.17}$$

în care P_{zM} este puterea de zgomot corespunzătoare semnalului $M(t)$ iar P_{zS^*} cea corespunzătoare lui $S^*(t)$, iar B_1, B_2, f_a au semnificația din fig. 11.2.

Dacă ținem seama de efectul *dezaccentuării* (cu constanta de timp τ) relația (11.15) devine

$$P_z = \frac{2\pi S_d^2}{P_p}\left[\int_0^{B/2} \frac{Nf_z^2}{1+4\pi^2 f_z^2\tau^2}\,df_z + \int_{-B/2}^{0} \frac{Nf_z^2}{1+4\pi^2 f_z^2\tau^2}\,df_z\right] \tag{11.18}$$

Notînd cu $f_0 = \frac{1}{2\pi\tau}$ și ținînd cont de relația (11.18), relațiile (11.16) și (11.17) devin

$$P_{zM} = \frac{4\pi^2 S_d^2 N}{P_p}\left(f_a f_0^2 - f_0^3 \operatorname{arctg}\frac{f_a}{f_0}\right); \tag{11.19}$$

$$P_{zS^*} = \frac{2\pi^2 S_d^2 N f_0^3}{P_p}\left[\left(\frac{f_z}{f_0} - \operatorname{arctg}\frac{f_z}{f_0}\right)\Big|_{B_1}^{B_2} + \left(\frac{f_z}{f_0} - \operatorname{arctg}\frac{f_z}{f_0}\right)\Big|_{-B_2}^{-B_1}\right] \tag{11.20}$$

Relația (11.18) are o formă complicată și pentru a găsi o expresie compactă vom aproxima forma parabolică care rezultă pentru puterea de zgomot printr-un dreptunghi (fig. 11.3). Vom considera o densitate de zgomot constantă și care rezultă din relația (11.17) :

$$dP_{zS^*} = \frac{4\pi^2 S_d^2 N}{3P_p} \cdot \frac{B_2^3 - B_1^3}{B_2 - B_1} \tag{11.21}$$

În acest caz (11.20) devine

$$P_{zS^*} = \frac{8\pi^2 S_d^2 N}{3P_p} \cdot \frac{B_2^3 - B_1^3}{B_2 - B_1} f_0 \operatorname{arctg}\frac{f_a}{f_0} \tag{11.22}$$

Fig. 11.3. Reprezentarea puterii de zgomot la ieșirea demodulatorului MF.

Notînd frecvența centrală a benzii cu $\bar{f} = \frac{B_1 + B_2}{2}$ și aproximînd $B_1 B_2 \approx \bar{f}^2$ relația (11.22) devine

$$P_{zS^*} = \frac{8\pi^2 S_d^2 N}{P_p} \bar{f}^2 f_0 \operatorname{arctg}\frac{f_a}{f_0} \tag{11.23}$$

La recepție vom avea un proces invers matricierii de la emisie, astfel că vom avea un semnal $2A(t)$ sau $2B(t)$.

În cazul în care avem cele două semnale audio egale $A(t) = B(t)$ notăm :

$$P_A = \frac{\Delta f_{A(t)}}{\Delta f_{max}} \tag{11.24}$$

unde $\Delta f_{A(t)}$ este deviația de frecvență ce revine semnalului $A(t)$.
Notăm cu P_M puterea semnalului util rezultat în cazul unei emisiuni monofonice și cu P_A puterea semnalului util rezultat în cazul recepției stereofonice și ținînd seama de relația (11.24) putem scrie

$$P_A = 4P_A^2 P_M \tag{11.25}$$

Puterea de zgomot la ieșirea canalului $A(t)$ sau $B(t)$ va fi

$$P_{zA} = P_{zM} + P_{zS^*} \tag{11.26}$$

În acest caz reducerea raportului semnal/zgomot va fi

$$R_{s/z} = \frac{P_M/P_{zM}}{P_A/P_{zA}} = \frac{1}{4P_A^2}\left[1 + \frac{2f^2 \operatorname{arctg} \frac{f_a}{f_0}}{f_a f_0 - f_0^2 \operatorname{arctg} \frac{f_a}{f_0}}\right] \tag{11.27}$$

Pentru un sistem în care $\tau = 50\ \mu s$ și $\Delta f_{max} = 50$ kHz rezultă o valoare de 21,5 dB. Înrăutățirea raportului semnal/zgomot se datorește în principal :

— reducerii deviației de frecvență alocate semnalului util ;

— micșorării efectului de îmbunătățire a raportului semnal/zgomot obținut cu ajutorul preaccentuării ;

— măririi puterii de zgomot, prin mărirea spectrului semnalului de modulație.

Această reducere a raportului semnal/zgomot are ca urmare reducerea zonei de serviciu a unui emițător care lucrează în regim stereofonic.

11.3.3. RADIOEMIȚĂTORUL STEREOFONIC

De la studioul de radio se transmit două informații audio independente, $A(t)$ și $B(t)$. La emițătorul de radiodifuziune semnalul monofonic este înlocuit cu un semnal de modulație multiplex stereo. Semnalul multiplex stereo este compus din semnalul principal $M_{(t)}$, rezultat al însumării celor două informații audio $A(t)$ și $B(t)$, și semnalul stereofonic auxiliar $S(t)$ compus din benzile laterale, rezultate din modularea în amplitudine a unei subpurtătoare cu semnalul $S(t)$, diferență a celor două informații, $A(t)$ și $B(t)$. Pentru refacerea subpurtătoarei la recepție, se include în semnalul multiplex stereo și un semnal pilot cu frecvența egală cu jumătate din frecvența subpurtătoarei.

Semnalul multiplex stereo ocupă un spectru de frecvență mult mai larg în comparație cu semnalul monofonic. Utilizarea acestui semnal, ca semnal de modulație MF atrage după sine lărgirea benzii ocupate de purtătoare și de componentele principale, precum și o serioasă înrăutățire a raportului semnal/zgomot.

La emisie vom avea două procese și anume (fig. 11.4) :

— procesul de formare a semnalului multiplex stereo care este de fapt un proces de codare a celor două informații $A(t)$ și $B(t)$;

— procesul de modulare în frecvență a purtătoarei de înaltă frecvență.

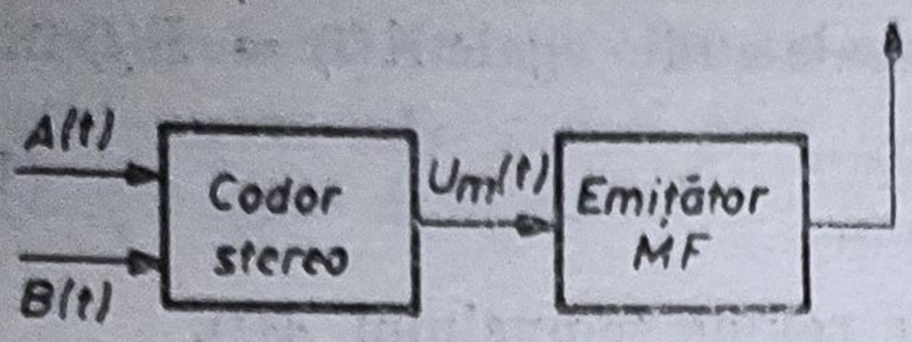


Fig. 11.4. Schema bloc simplificată a unui emițător MF stereofonic.

Schema de principiu a unui radioemițător mono-stereo se dă în fig. 11.5. Cele două semnale stereo A și B sînt transmise de studioul de radiodifuziune pe două canale de transmisie pînă la radioemițător.

La radioemițător cele două semnale stereo sînt introduse în matricea (M) care furnizează semnalul M compatibil și semnalul S (informația stereo). Un generator pilot GP furnizează o frecvență stabilizată de 19 kHz care este introdusă în dublorul de frecvență DF, obținîndu-se frecvența de 38 kHz care în blocul modulator MA este modulată în amplitudine cu semnalul S, obținîndu-se semnalul modulat S^*.

Semnalul compatibil M, semnalul cu informație stereo S^* și semnalul pilot P sînt însumate, obținîndu-se semnalul multiplex cu care se modulează în frecvență emițătorul EMF în regimul de funcționare stereo.

În vederea comutării emițătorului în regimul de lucru stereo, studioul de radio transmite pe liniile de modulație semnalul de program în fază, iar pentru comutarea în regim de lucru monofonic semnalul se transmite pe cele două

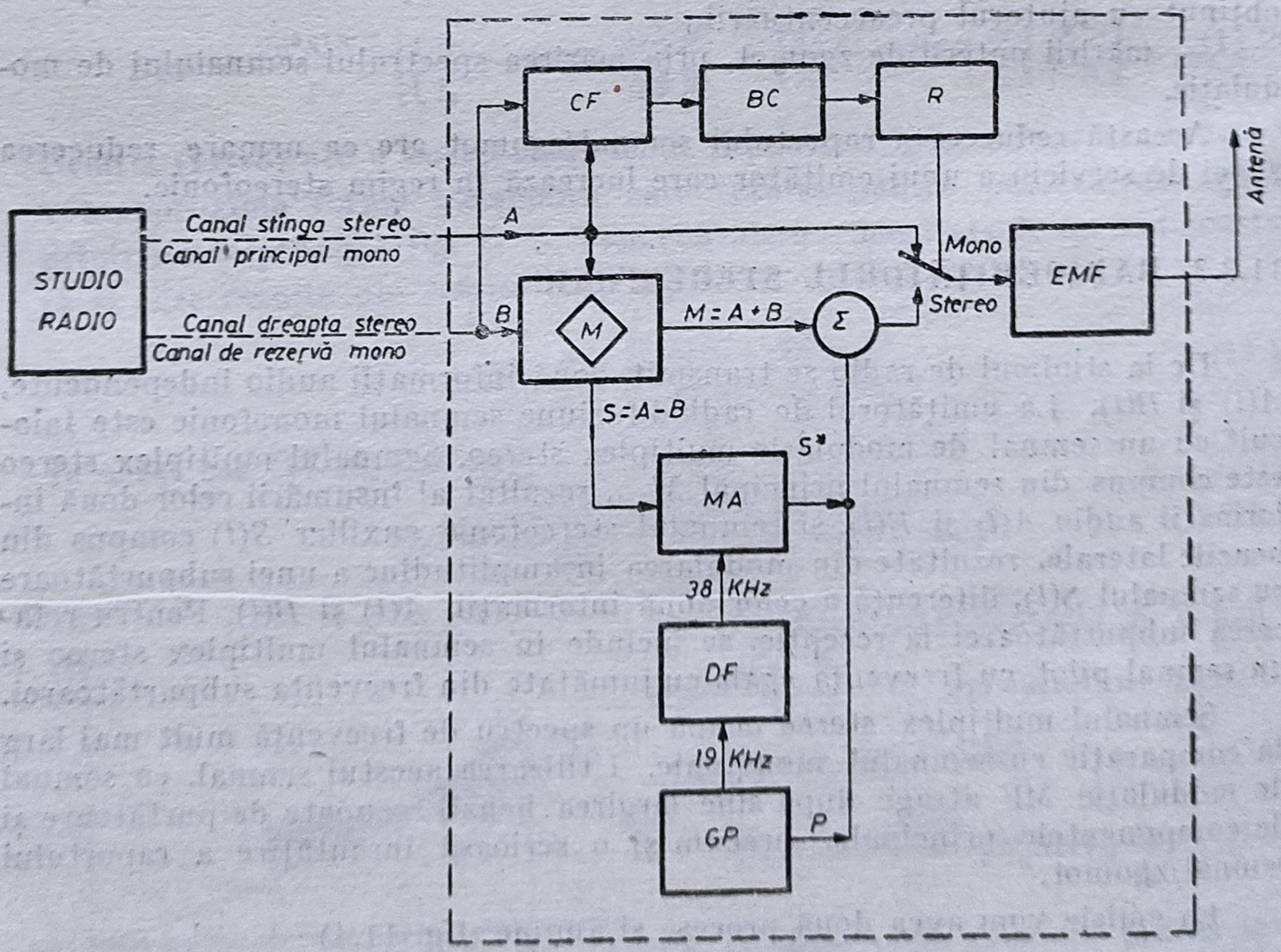
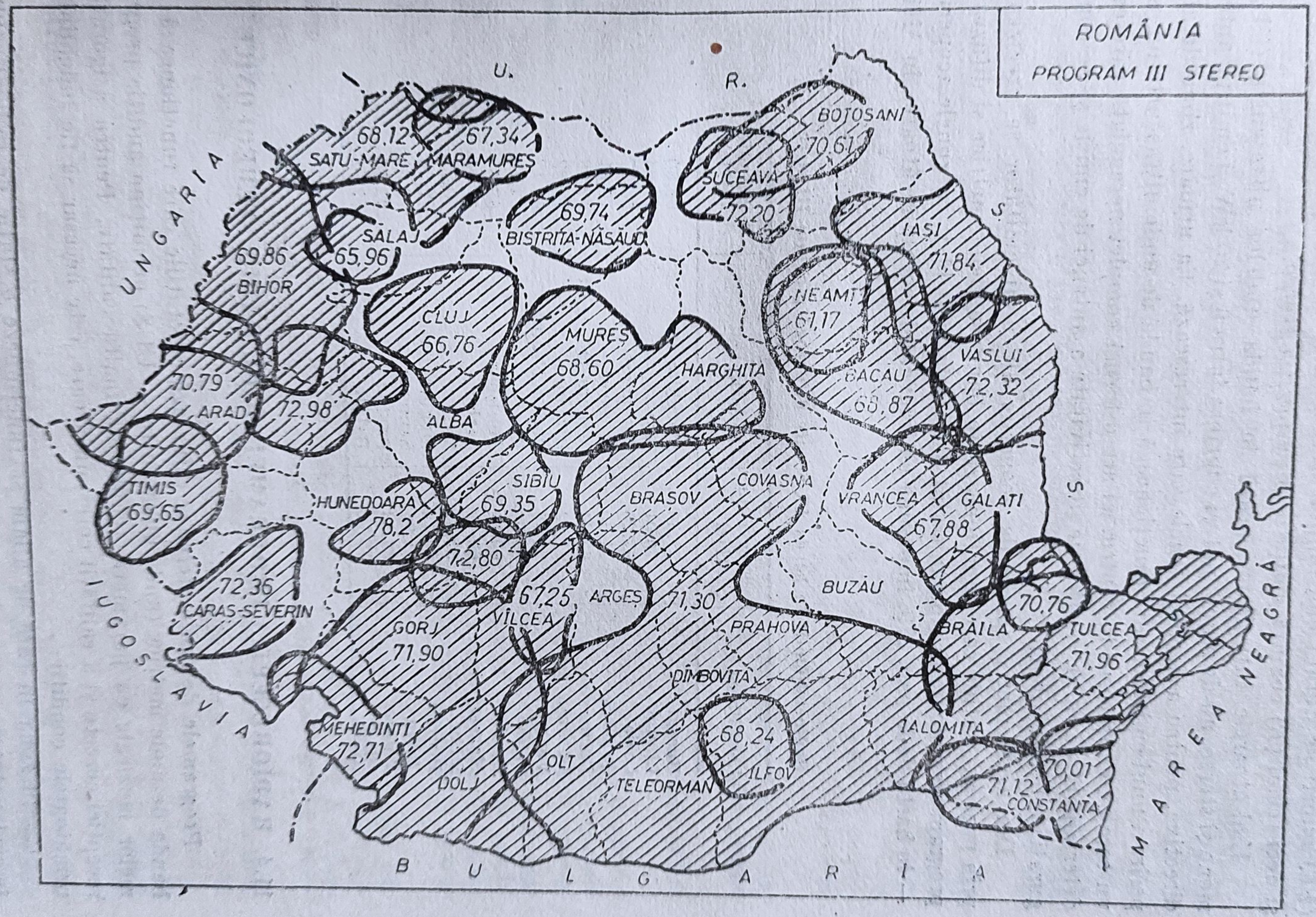


Fig. 11.5. Schemă de principiu a unui radioemițător mono-stereo: GP — generator pilot; DF — dublor frecvență; MA — modulator amplitudine; M — matrice stereo; CF — compaator de fază; BC — bloc de comandă; R — releu de conectare; EMF — emițător.


ROMÂNIA
PROGRAM III STEREO
U. R. S. S.
UNGARIA
IUGOSLAVIA
BULGARIA
MAREA NEAGRĂ
SATU-MARE 68,12
MARAMUREŞ 67,34
BOTOŞANI 70,61
SUCEAVA 72,20
BISTRIŢA-NĂSĂUD 69,74
SĂLAJ 65,96
BIHOR 69,86
IAŞI 71,84
NEAMŢ 67,17
CLUJ 66,76
MUREŞ 68,60
HARGHITA
BACĂU 68,87
VASLUI 72,32
ARAD 70,79
ALBA 72,98
TIMIŞ 69,65
HUNEDOARA 78,2
SIBIU 69,35
BRAŞOV 72,80
COVASNA
VRANCEA 67,88
GALAŢI
CARAŞ-SEVERIN 72,36
GORJ 71,90
VÎLCEA 67,25
ARGEŞ 71,30
BUZĂU
PRAHOVA
BRĂILA 70,76
TULCEA 71,96
DÎMBOVIŢA
MEHEDINŢI 72,71
DOLJ
OLT
TELEORMAN
68,24
ILFOV
IALOMIŢA 70,01
71,12
CONSTANŢA

liniii de modulaţie defazat cu 180° (în antifază). Comparatorul de fază (*CF*) compară cele două semnale şi furnizează semnal pentru blocul de comandă (*BC*) numai pe durata emisiunilor stereofonice, cînd semnalele sînt în fază şi deci releul (*R*) comută emiţătorul pe poziţia stereo.

Emiţătoarele care funcţionează în banda undelor ultrascurte (UUS), mono şi stereo, au de regulă puteri cuprinse între 6 şi 20 kW şi emit pe antene directive, pentru a acoperi zonele care interesează. Ca urmare, zona de acoperire a unui emiţător care funcţionează în banda de unde ultrascurte nu este un cerc cu emiţătorul în centru, ci are o formă complet neregulată care este determinată de caracteristica de directivitate a antenei de emisie şi de configuraţia reliefului zonei.

Din acest motiv zonele de acoperire ale unui emiţător se precizează prin proiect. Staţiile care funcţionează în banda undelor metrice şi difuzează program stereofonic în România sînt date în tabelul 11.1, iar zonele acoperite — în harta de la pag. 279, împreună cu frecvenţele corespunzătoare, în MHz.

Tabelul 11.1

Radioemiţătorii în banda UUS care difuzează program III stereo

Localitatea	Frecvenţa (MHz)	Localitatea	Frecvenţa (MHz)
Bucegi	71,30	Harghita	68,60
Litoral	70,01	Iaşi	71,84
Cozia	67,25	Comăneşti	68,87
Topolog	71,90	Suceava	70,61
Bucureşti	68,24	Măgura Odobeşti	67,88
Băneasa	71,12	Bîrlad	72,32
Văcăreni	70,76	Piatra Neamţ	66,17
Feleac	66,76	Rarău	72,20
Oradea	69,86	Timişoara	69,65
Mogoşa	68,12	Cerbu	71,90
Sibiu	69,35	Siria	70,79
Bistriţa	69,74	Măgura Boiu	72,20
Zalău	65,96	Semenic	72,365
Văratec	67,34	Paring	72,80
Bihor	72,98	Balota	72,71

11.4. RADIORECEPŢIA PROGRAMELOR DE RADIO STEREOFONICE

Programele de radio stereo se difuzează pe staţiile care funcţionează în banda de unde metrice (unde ultrascurte — UUS) permiţînd audiţia programelor muzicale cu parametri tehnici de înaltă calitate. Pentru asigurarea recepţiei corecte şi a calităţii corespunzătoare, este necesar să fie îndeplinite următoarele condiţii :

— în zona în care ne aflăm să funcţioneze o staţie de radiodifuziune în regim stereo ;

— să dispunem de un radioreceptor stereo ;

— să avem posibilitatea de a racorda radioreceptorul la antena colectivă a clădirii sau, în cazul în care nu avem la dispoziție o antenă colectivă, să instalăm o antenă exterioară pentru banda 66—73 MHz de unde metrice;

— să amplasăm corect în cameră cele două surse de semnal (incinte sonore cu difuzoare) ale radioreceptorului;

— să ne alegem o poziție corectă în camera în care ascultăm programul;

— să reglăm corect radioreceptorul la începutul programului stereo.

Stații de radio care asigură difuzarea emisiunilor stereofonice sînt în funcțiune în majoritatea zonelor și localităților din țara noastră.

Deoarece radioreceptorul stereofonic este destul de pretențios, nu este recomandabil să se procure un astfel de aparat de ocazie, deoarece poate avea decodorul stereo defect sau de alt tip (realizat după altă normă tehnică), iar repararea și punerea la punct a unui radioreceptor stereofonic este o operațiune dificilă care se poate face numai în ateliere specializate.

Pentru a asigura recepția programului stereo în bune condițiuni este necesar ca la radioreceptor să se conecteze o antenă exterioară bună, pentru banda 66—73 MHz, chiar și în cazurile în care, în regim monofonic, radioreceptorul funcționează bine cu antena sa interioară. În construcțiile noi, — de regulă, se realizează instalații de antenă colectivă pentru radio și televiziune, reglate și orientate în mod corespunzător, pentru a asigura o recepție de bună calitate și sigură.

Deci, în aceste cazuri, cu ajutorul unui cablu coaxial special cu două mufe, se conectează antena colectivă (borna radio) la aparatul de recepție (borna de antenă.

În cazul în care clădirea în care locuim nu are instalație de antenă colectivă, este necesar să se instaleze o antenă individuală exterioară.

În caz că nu se găsește o antenă pentru banda 66—73 MHz, se poate folosi, cu rezultate bune, o antenă pentru banda I de televiziune sau se poate construi o antenă după o documentație tehnică corespunzătoare acestui scop.

Iată acum unele precizări în legătură cu îndeplinirea condițiilor care asigură calitatea ambianței sonore în cazul unei audiții stereo. Prima condiție care trebuie îndeplinită este de a amplasa în mod corespunzător cele două surse de semnal (incinte sonore cu difuzoare), realizate detașat față de aparatul de radio.

În funcție de condițiile concrete oferite de camera în care se face audiția programului, este necesar să plasăm cele două surse de semnal la o distanță suficient de mare (2—4 m) între ele (*bază*) și la o înălțime de 1—1,5 m pe una din laturile încăperii, în așa fel încît acestea să se afle în fața ascultătorului din încăperea respectivă.

Deoarece sursele de semnal (incinte sonore cu difuzoare) sînt directive, acestea se vor orienta astfel ca axele lor să facă un unghi de cca. 60° cu dreapta care unește cele două incinte (bază), spre interiorul suprafeței de ascultare. De asemenea, se va avea în vedere ca sursele de semnal să fie amplasate în concordanță cu indicațiile celor două canale, respectiv canalul stîng în stînga și canalul drept în dreapta ascultătorului, cînd acesta este plasat cu fața spre centrul bazei.

Pentru a nu se deforma imaginea sonoră, se va avea în vedere ca, în pozițiile stabilite, cele două incinte de ascultare să fie cît mai degajate și în fața lor să nu se găsească nici un fel de obstacol, care să se interpună între ele și ascultătorul programului.

Pentru o audiţie stereo corectă, ascultătorul trebuie să se afle în interiorul zonei de audiţie stereofonică. Deci, ascultătorul care doreşte să asculte un program stereofonic în condiţii cît mai bune se va plasa la o distanţă mai mare decît cea stabilită între cele două difuzoare şi cît mai aproape de axa de simetrie a lor, pentru a fi la distanţe cît mai egale faţă de cele două surse de semnal, stînga şi dreapta.

Ultima condiţie care trebuie îndeplinită este de a regla corect aparatul de radio la începutul programului stereo. În acest scop, studioul de radio transmite un *semnal de comandă*, care acţionează în mod automat comutarea staţiei de emisie şi a radioreceptorului pe regimul de funcţionare stereo. Comutarea radioreceptorului în regimul de funcţionare stereo se verifică observînd aprinderea becului de semnalizare cu indicaţia stereo. În cazul în care becul nu se aprinde, trebuie verificat dacă este conectată corect antena şi dacă radioreceptorul a fost acordat bine pe staţia de emisie stereo.

După comutarea pe regimul de funcţionare stereo, studioul de radio transmite un *semnal de reglaj*, compus din anunţul emisiunii stereo însoţit de un semnal identic pe cele două canale şi cîteva indicaţii cu privire la modul de amplasare a celor două difuzoare şi a ascultătorului. Urmează un semnal separat, întîi pe canalul din stînga şi după aceea pe canalul din drepata, pentru a se verifica dacă cele două surse sînt amplasate corect. În cazul în care se constată că sînt inversate, se schimbă între ele mufele prin care se conectează, în spatele radioreceptorului, cele două difuzoare.

La sfîrşitul semnalului de reglaj se transmite un semnal identic pe cele două canale, ascultătorul acţionînd butonul *BALANS* pînă va percepe imaginea sonoră (sursa) în centru (la jumătatea distanţei dintre cele două difuzoare). După ce s-a controlat comutarea în regim stereo, amplasarea corectă a celor două canale şi s-a echilibrat semnalul între cele două canale, nu se va mai modifica reglajul balans.

În continuare, se va putea corecta, după dorinţă, în timpul ascultării programului stereo, numai nivelul de ascultare, prin acţionarea butonului de volum, şi banda de frecvenţă, prin acţionarea reglajelor corespunzătoare corecţiilor frecvenţelor joase şi respectiv înalte, reglaje care acţionează în mod simultan asupra celor două canale.

11.5. RADIORECEPTORUL STEREOFONIC

Din descrierea procesului de radiodifuzare a programelor stereofonice rezultă că la radiorecepţia stereofonică avem două procese distincte şi anume (fig. 11.6):

— procesul de *recepţie* a unei oscilaţii modulate în frecvenţă ;

— procesul de *decodare* a semnalului multiplex stereo.

Rezultatul acestui proces va fi reapariţia celor două informaţii iniţialele $A(t)$ şi $B(t)$.

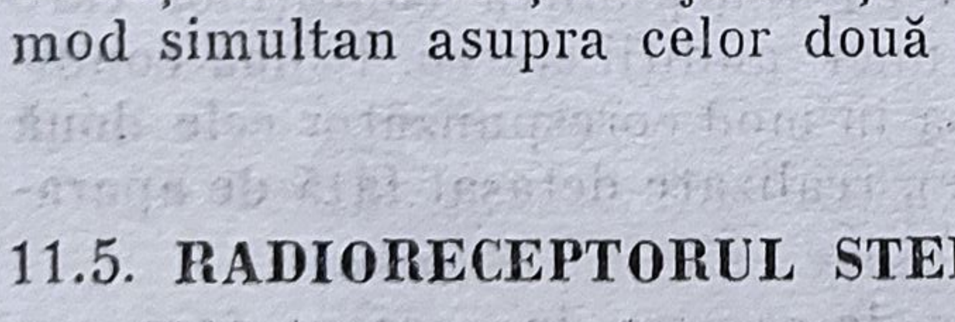


Fig. 11.6. Schema bloc simplificată a unui radioreceptor MF stereofonic.

Radioreceptorul MF stereofonic va avea în componenţa sa toate etajele unui receptor MF monofonic, diferind de acesta în principal prin adăugarea unui bloc funcţional nou, numit *decodor stereo*. Schema bloc completă a ra-

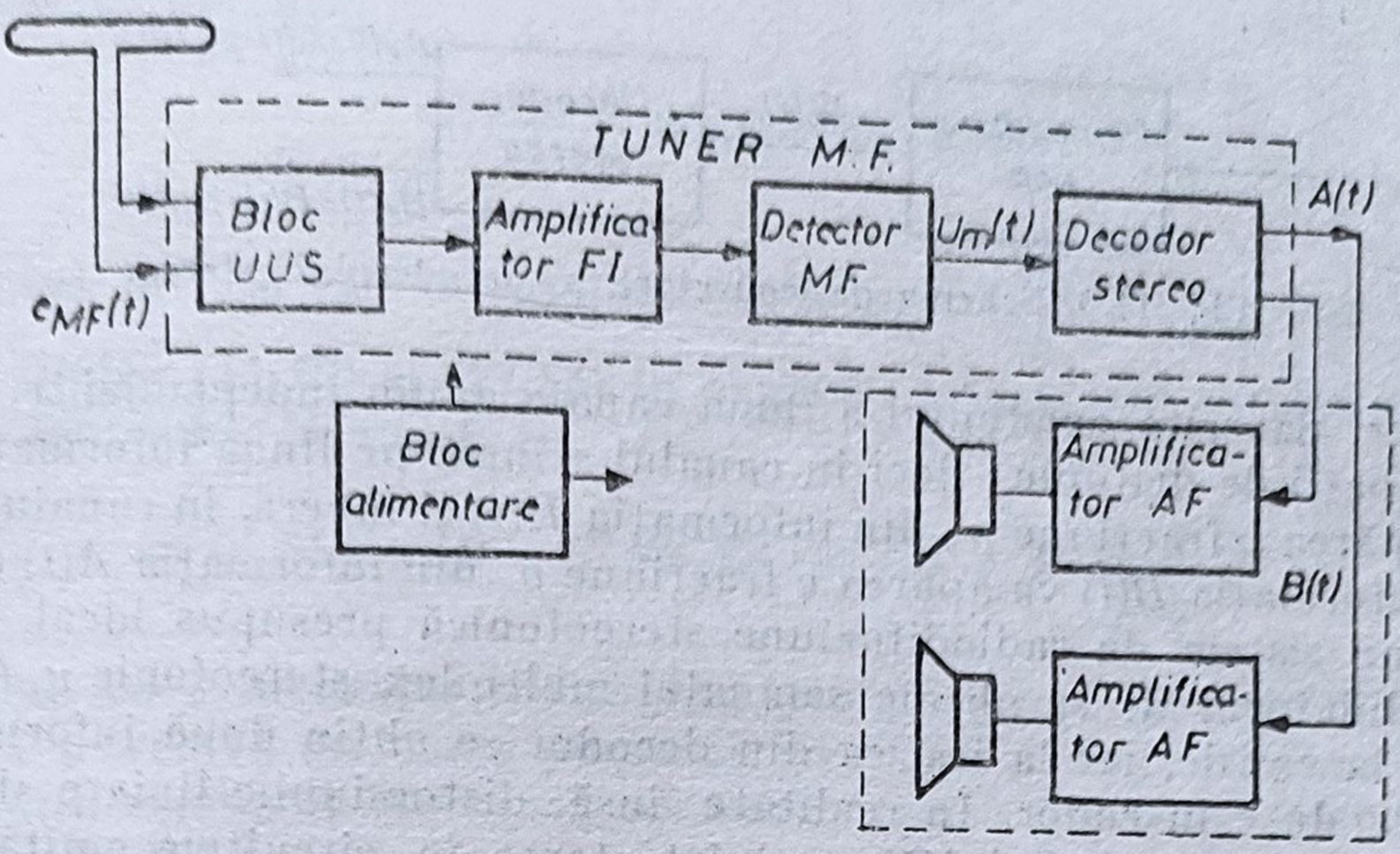


Fig. 11.7. Schema bloc a radioreceptorului stereofonic.

dioreceptorului stereo este prezentată în fig. 11.7. În componența sa vor intra blocul de unde ultrascurte (*UUS*), amplificatorul de frecvență intermediară (*FI*), demodulatorul (*MF*), decodorul stereo, amplificatoarele de audiofrecvență (*AF*), partea de alimentare și incidentele acustice. O mențiune specială trebuie făcută asupra antenelor ce se vor folosi pentru recepția emisiunilor stereofonice. Dacă pentru a recepționa o emisiune monofonică era suficient un dipol simplu, în cazul recepției stereofonice se recomandă utilizarea unor antene cu directivitate și cîștig sporit. Folosirea de antene cu directivitate mare se face cu dublu scop și anume :

— Îmbunătățirea raportului semnal/zgomot datorită cîștigului mai mare pe care îl asigură o astfel de antenă. Pentru obținerea unei recepții stereofonice de calitate, cîmpul minim la 10 m deasupra solului, în prezența paraziților instalațiilor electrice, trebuie să aibă următoarele valori : 0,5 mV/m în zonele rurale, 2 mV/m în zonele urbane și 5 mV/m în orașele mari.

— Eliminarea efectelor nedorite produse de fenomenul de propagare multiplă. Recepționarea undelor reflectate introduce distorsiuni neplăcute în cazul unei emisiuni stereofonice. Distorsiunile apar ca urmare a modulației de amplitudine și de fază parazite și cresc odată cu mărirea amplitudini și întîrzierii undei reflectate. Se recomandă ca raportul semnal direct/reflectat să fie mai mare de 16 dB.

Datorită dezvoltării tehnicii amplificatoarelor de înaltă fidelitate, se utilizează și varianta receptoarelor stereo sub forma a două unități separate: tunerul MF stereo și amplificatorul AF de înaltă fidelitate (vezi fig. 11.7).

Problemele legate de funcționarea, proiectarea și construcția blocurilor de FI, MF și amplificatoarelor AF stereo nu prezintă particularități în cazul programelor stereo radiodifuzate. Blocul specific al unui radioreceptor stereo, care este *decodorul stereo*, va fi prezentat la paragraful 11.5.2.

11.5.1. PROBLEME DE DIAFONIE LA RADIORECEPTOARELE STEREOFONICE

Într-un sistem de transmisiune multicanal noțiunea de *diafonie* se referă la acele perturbații care apar în canalul considerat și provin din semnalele utile ale altor canale. Putem, deci, imediat presupune că în cazul emisiunilor

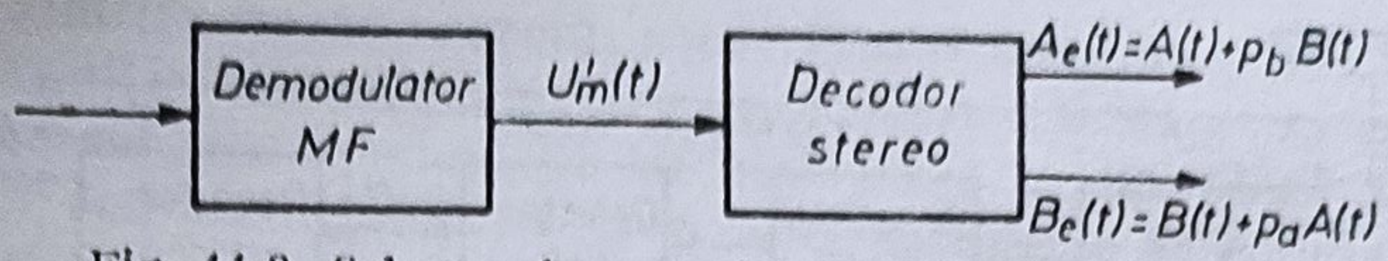


Fig. 11.8. Schema de conectare a decodorului stereo.

stereofonice, datorită existenței a două canale audio independente, vor apărea perturbații de diafonie ; deci în canalul stînga, pe lîngă informația dorită $A(t)$, va apărea o fracțiune p_b din informația $B(t)$ și invers, în canalul dreapta, pe lîngă informația $B(t)$ va apărea o fracțiune p_a din informația $A(t)$ (fig 11.8).

Într-un sistem de radiodifuziune stereofonică presupus ideal, la ieșirea din demodulatorul MF se obține semnalul multiplex stereofonic $u_m(t)$ identic cu cel de la emisie, iar la ieșirea din decodor se obțin două informații $A(t)$ și $B(t)$ introduse în codor. În realitate însă, distorsiunile liniare și neliniare pe care le suferă semnalul MF modulat stereo în circuitele emițătorului și mai ales în cele ale radioreceptorului fac ca la ieșirea din demodulatorul MF să avem un semnal multiplex stereo $u'_m(t)$ *diferit* de cel de la emisie $u_m(t)$. La trecerea prin decodor, datorită filtrelor și a procesului de decadare însuși, semnalul multiplex stereo $u'_m(t)$ este distorsionat în continuare, ceea ce conduce la apariția diafoniei, astfel că la ieșirea decodorului stereo se vor obține două informații $A_e(t)$ și $B_e(t)$, diferite de cele de la emisie :

$$A_e(t) = A(t) + p_b B(t) \tag{11.28}$$

$$B_e(t) = B(t) + p_a A(t), \tag{11.29}$$

unde

$$p_a,\ p_b < 1$$

Se definește ca *separare a canalelor* sau *atenuare de diafonie* raportul

$$D_A = 20 \log \left| \frac{A_e(t)}{B_e(t)} \right|_{B(t)=0} \tag{11.30}$$

sau

$$D_B = 20 \log \left| \frac{B_e(t)}{A_e(t)} \right|_{A(t)=0} \tag{11.31}$$

Relația (11.30) definește atenuarea de diafonie a canalului stînga față de canalul dreapta, iar relația (11.31) definește atenuarea de diafonie a canalului dreapta față de canalul stînga. În continuare, pentru simplificare, aceste atenuări de diafonie se pot considera egale din motive de simetrie.

Diafonia care apare la trecerea semnalului multiplex stereofonic prin circuitele radioreceptorului se datorește, în principal, următoarelor cauze :

— atenuarea inegală a componentelor spectrului semnalului multiplex stereo ;

— defazajul inegal pe care îl suferă aceste componente la trecerea prin circuite ;

— eroarea de fază care apare între frecvența pilot de la recepție față de frecvența pilot de la emisie.

Considerînd cazul $A(t) = A \sin \Omega t$ și $B(t) = 0$, în care $\frac{\Omega}{2\pi}$ este o frecvență audio, va rezulta un semnal principal

$$M(t) = \frac{A}{2} \sin \Omega t = M \sin \Omega t \tag{11.32}$$

și un semnul diferență

$$S(l) = \frac{A}{2} \sin \Omega l = S \sin \Omega l \tag{11.33}$$

Evident $M(t)$ și $S(t)$ au amplitudinile egale, $\frac{M}{S} = 1$, și sînt în fază. Înlocuind relațiile (11.32) și (11.33) în expresia semnalului multiplex se obține semnalul multiplex la emisie :

$$u_m(t) = M \sin \Omega t + S \sin \Omega t \sin \omega_s t + P \sin \frac{\omega_s}{2} t \tag{11.34}$$

Notînd cu θ defazajul semnalului principal față de semnalul auxiliar stereo, cu φ eroarea de fază a pilotului, cu M' și S' amplitudinea semnalelor $M'(t)$ și $S'(t)$, semnalul multiplex stereo la ieșirea din demodulatorul MF al radioreceptorului va avea expresia :

$$u'_m(t) = M' \sin(\Omega t + \theta) + S' \sin \Omega t \sin \omega_s t + P \sin \left(\frac{\omega_s}{2} t + \varphi \right) \tag{11.34}$$

Presupunînd un proces de decodare *ideal*, care nu introduce diafonie, vor rezulta următoarele expresii pentru semnalul sumă și semnalul diferență :

$$M'(t) = M' \sin(\Omega t + \theta) \tag{11.36}$$

$$S'(t) = S' \cos 2\varphi \sin \Omega t \tag{11.37}$$

Eroarea de fază a frecvenței pilot va produce o eroare de fază dublă în procesul de refacere al subpurtătoarei suprimate și, deci, amplitudinea semnalului $S'(t)$ se va înmulți cu $\cos 2\varphi$.

Pentru a obține informațiile canalului stîng și canalului dreapta se va face operațiunea inversă matricierii de la emisie :

$$A_e(t) = M'(t) + S'(t) \tag{11.38}$$

$$B_e(t) = M'(t) - S'(t) \tag{11.39}$$

Înlocuind cu expresiile (11.36) și (11.37) se obține :

$$A_e(t) = M' \sin(\Omega t + \theta) + S' \cos 2\varphi \sin \Omega t \tag{11.40}$$

$$B_e(t) = M' \sin (\Omega t + \theta) - S' \cos 2\varphi \sin \Omega t \tag{11.41}$$

Punînd în evidență componentele în cvadratură din relațiile (11.40) și (11.41) rezultă

$$A_e(t) = (M' \cos \theta + S' \cos 2\varphi) \sin \Omega t + M' \sin \theta \cos \Omega t \tag{11.42}$$

$$B_e(t) = (M' \cos \theta - S' \cos 2\varphi) \sin \Omega t + M' \sin \theta \cos \Omega t \tag{11.43}$$

Înlocuind modulul amplitudinilor $A_e(t)$ și $B_e(t)$, în relația (11.30) se obține :

$$D = 20 \log \left[\frac{(M' \cos \theta + S' \cos 2\varphi)^2 + M'^2 \sin^2 \theta}{(M' \cos \theta - S' \cos 2\varphi)^2 + M'^2 \sin^2 \theta} \right]^{1/2} \tag{11.44}$$

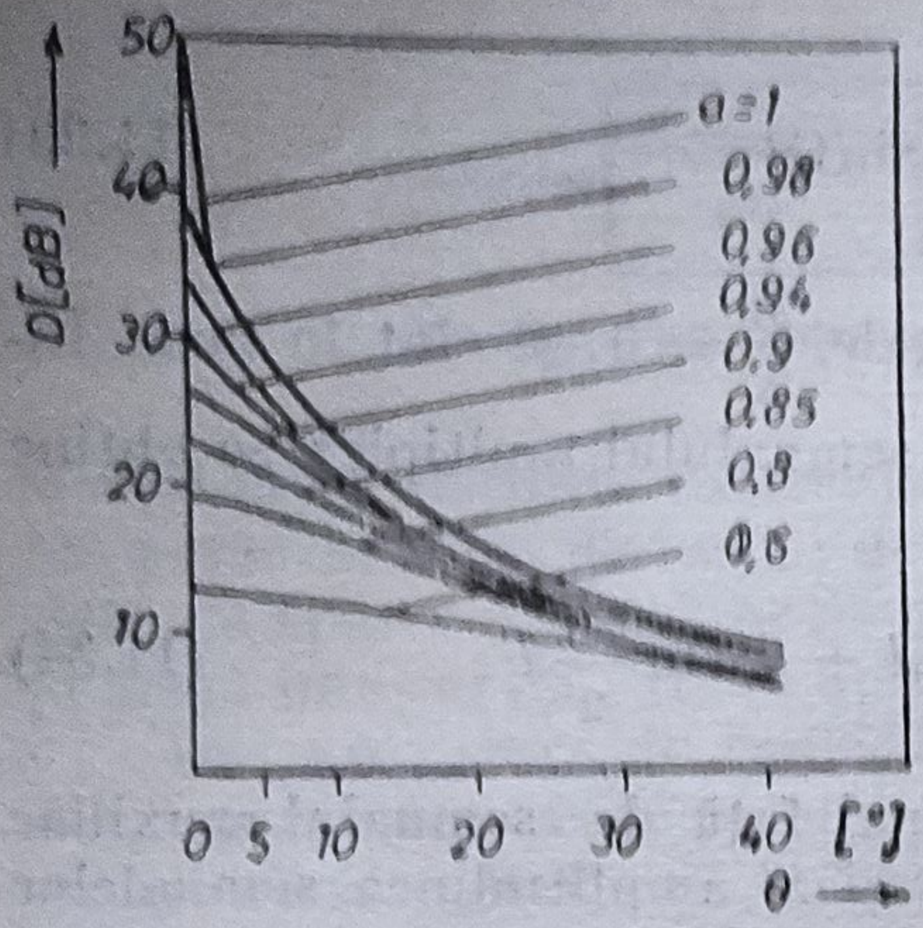


Fig. 11.9. Atenuarea de diafonie, D, în funcție de diferența de fază, θ, și raportul amplitudinilor semnalelor, $M(t)$ și $S(t)$.

Notînd cu $a = \frac{S'}{M'}$ raportul amplitudinilor semnalului diferență și sumă, relația (11.44) se poate scrie :

$$D = 20\log\left[\frac{(\cos\theta + a\cos 2\varphi)^2 + \sin^2\theta}{(\cos\theta - a\cos 2\varphi)^2 + \sin^2\theta}\right]^{1/2} \tag{11.45}$$

sau

$$D = 20\log\left[\frac{1 + 2a\cos\theta\cos 2\varphi + a^2\cos^2 2\varphi}{1 - 2a\cos\theta\cos 2\varphi + a^2\cos^2 2\varphi}\right]^{1/2} \tag{11.46}$$

În cazul în care putem realiza în circuitele decodorului stereo o compensare a erorii de fază pe care o are frecvența pilot putem considera că avem $\varphi = 0$ și deci relația (11.46) devine :

$$D = 20\log\left[\frac{1 + 2a\cos\theta + a^2}{1 - 2a\cos\theta + a^2}\right]^{1/2} \tag{11.47}$$

În fig. 11.9 este trasată variația atenuării de diafonie în funcție de unghiul θ, avînd pe a ca parametru. Atenuarea de diafonie devine deci unul din parametrii principali care vor fi urmăriți în proiectarea unui radioreceptor stereo, parametru de care depinde în final însăși realizarea efectului stereofonic.

Pentru a stabili mărimea atenuării de diafonie care trebuie impusă sistemului se va ține seama de aspectul subiectiv al reproducerii stereofonice. Pe cale experimentală au fost stabilite pentru diafonie curbele din fig. 11.10 în care : a e limita perceptibilă ; b — limita acceptabilă, c — valoarea recomandată.

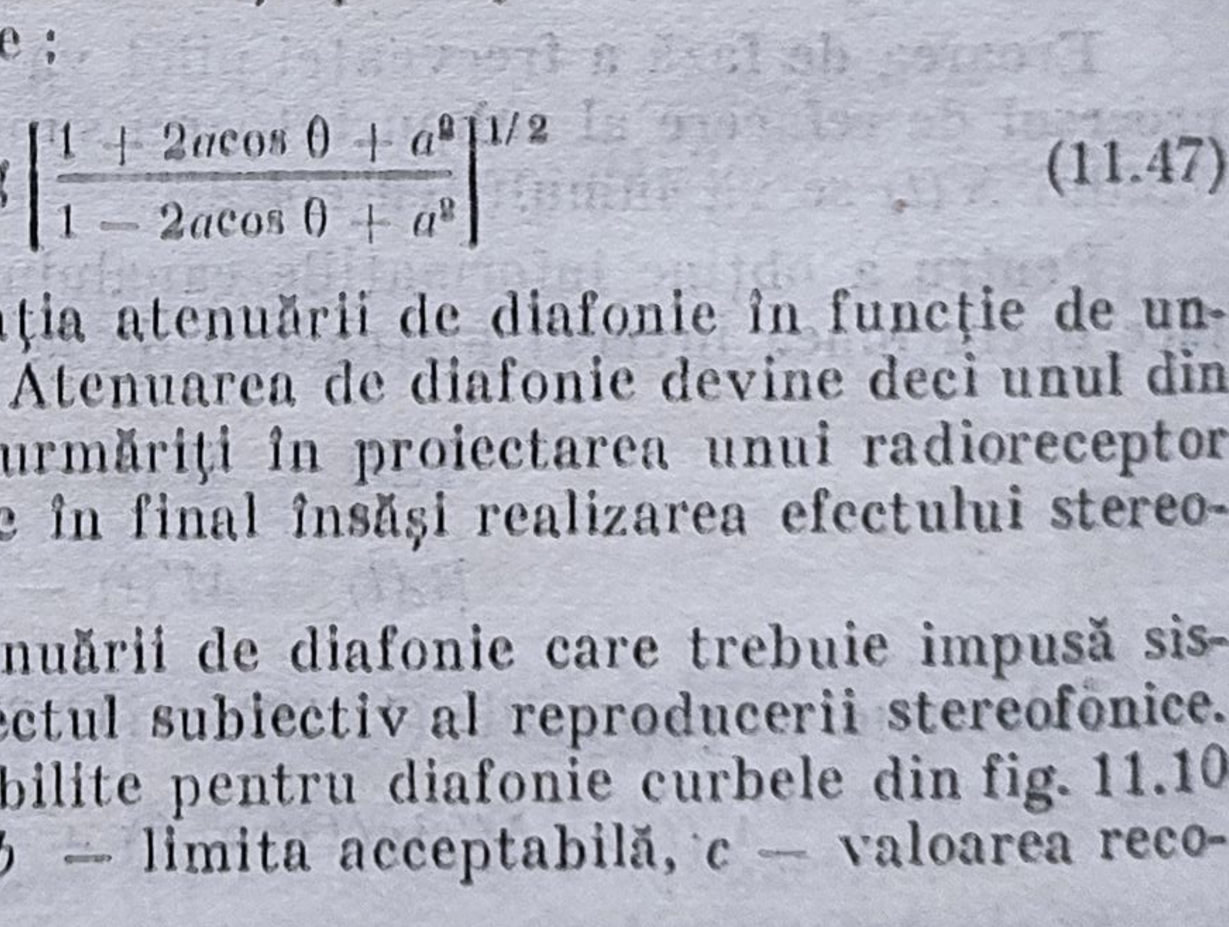


Fig. 11.10. Curbe limită pentru atenuarea de diafonie : *a*) limite perceptibile ; *b*) limite acceptabile ; *c*) valori recomandate.

11.5.2. DECODORUL STEREO — PRINCIPII DE FUNCȚIONARE

În cazul radioreceptoarelor stereofonice putem vorbi de un proces complex de demodulare, care este format din două etape distincte. Prima etapă este cea de demodulare a unui semnal modulat în frecvență, avînd ca rezultat *obținerea unui semnal multiplex stereo*. Etapa a doua a procesului complex de demodulare constă în *decodarea semnalului multiplex stereo* $u'_m(t)$ obținut la ieșirea demodulatorului MF.

Prin proces de *decodare* vom înțelege totalitatea operațiunilor care se efectuează asupra semnalului multiplex stereo pentru obținerea informațiilor originale din cele două canale, $A(t)$ și $B(t)$. Decodorul stereo este blocul funcțional al radioreceptorului stereo în care se realizează procesul de decodare.

Din examinarea spectrului semnalului multiplex stereo (fig. 11.1) rezultă că procesul de decodare trebuie să cuprindă următoarele operațiuni :

— refacerea subpurtătoarei suprimate la emisie ;

— obținerea semnalului $S(t)$ din semnalul $S^*(t)$, cu ajutorul subpurtătoarei refăcute ;

— refacerea informațiilor $A(t)$ și $B(t)$ cu ajutorul semnalelor $M(t)$ și $S(t)$.

Considerînd că la ieșirea din demodulatorul MF avem un semnal multiplex stereo *ideal*, fără diafonie, vom examina posibilitatea realizării procesului de decodare.

Parametrul cel mai important al procesului de decodare va fi în acest caz atenuarea de diafonie. Avînd drept criterii modul de separare a componentelor și procedeul de demodulare a semnalului auxialiar $S^*(t)$, se diferențiază următoarele variante de decodare :

a) decodor cu separarea componentelor $M(t)$ și $S(t)$, cu detecția anvelopei ;

b) decodor cu obținerea directă a lui $A(t)$ și $B(t)$, cu detecția anvelopei ;

c) decodor cu separarea componentelor $M(t)$ și $S(t)$, cu demodulare prin comutator cu diviziune de timp ;

d) decodor cu obținerea direct a lui $A(t)$ și $B(t)$ cu demodulare prin comutator cu diviziune de timp.

In continuare se va prezenta pentru exemplificare unul din cele mai folosite decodoare în radioreceptoarele stereofonice.

Decodor cu separarea directă a semnalelor A(t) și B(t) cu detecția anvelopei

Din analiza decodorului care funcționează pe principiul separării componentelor $M(t)$ și $S(t)$ rezultă că acesta utilizează un număr mare de filtre. Această soluție prezintă dezavantajul unui număr mare de elemente inductive, precum și o posibilitate crescută de apariție a diafoniei. Parțial, aceste inconveniente sînt eliminate la decodorul cu separarea directă a semnalelor $A(t)$ și $B(t)$, decodor a cărui schemă bloc este prezentată în fig. 11.11.

Frecvența pilot este separată cu ajutorul unui *filtru trece bandă*, de bandă îngustă. Cu ajutorul frecvenței pilot se reface subpurtătoarea suprimată la emisie $S_p(t)$. Semnalul multiplex stereo se aplică unui etaj de însumare Σ împreună cu subpurtătoarea refăcută.

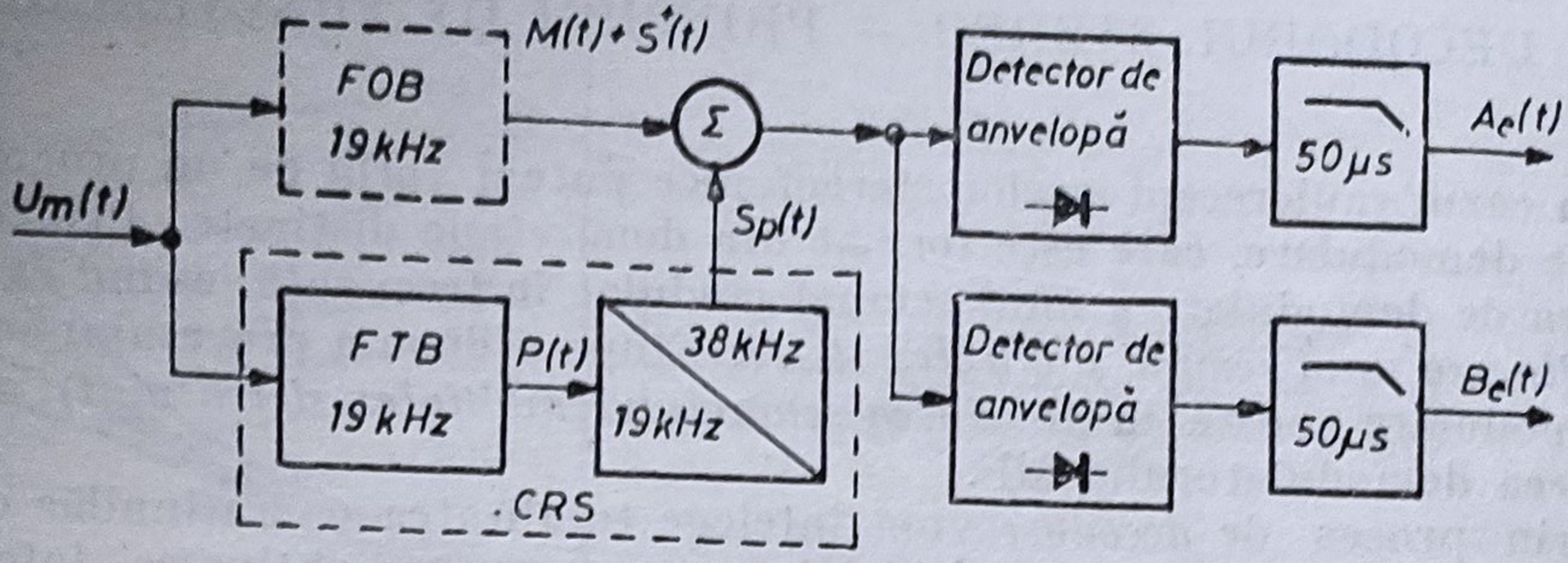


Fig. 11.11. Schema bloc a decodorului stereo cu separarea directă a semnalelor $A(t)$ și $B(t)$, cu detecție anvelopei : FOP — filtru oprește bandă ; FTB — filtru trece bandă ; CRS — calea de refacere a subpurtătoarei ; Σ — circuit de însumare.

Unele decodoare conțin și un *filtru oprește bandă* pentru suprimarea frecvenței pilot din cadrul semnalului multiplex stereo.

La ieșirea din etajul de însumare vom avea un semnal de forma

$$u(t) = M(t) + S^*(t) + S_p(t) \tag{11.48}$$

Ținînd seama de relația (11.7) putem scrie

$$u(t) = M(t) + S(t) \sin \omega_s t + S_p \sin \omega_s t \tag{11.49}$$

Semnalul $u(t)$ se aplică unor detectoare de anvelopă, astfel încît să se realizeze detecția ambelor înfășurătoare.

Astfel, pentru înfășurătoarea superioară vom avea

$$\sin \omega_s t = 1$$

și deci relația (11.49) devine

$$u(t) = M(t) + S(t) + S_p \tag{11.50}$$

Ținînd seama de relațiile (11.1) și (11.2) avem

$$u(t) = \frac{A(t) + B(t)}{2} + \frac{A(t) - B(t)}{2} + S_p = A(t) + S_p \tag{11.51}$$

Termenul S_p reprezintă componenta continuă care se elimină și, deci, semnalul rezultant va fi $A(t)$. La detecția înfășurătoarei inferioare vom avea $\sin \omega_s t = -1$ și relația (11.49) devine

$$u(t) = M(t) - S(t) - S_p \tag{11.52}$$

Ținînd seama de (11.1) și (11.2) rezultă

$$u(t) = B(t) - S_p \tag{11.53}$$

După filtrarea componentei continue vom avea informația $B(t)$. Deci, prin adăugarea subpurtătoarei refăcute la semnalul $M(t) + S^*(t)$, se obține o oscilație modulată în amplitudine — anvelopa superioară cu informația $A(t)$ iar anvelopa inferioară cu informația $B(t)$.

Semnalele $A(t)$ și $B(t)$, care rezultă în urma detecției sînt aplicate circuitelor de dezaccentuare.

Dacă presupunem că filtrul oprește bandă nu introduce modificări asupra semnalului $M(t) + S^*(t)$, diafonia este introdusă în principal de eroarea de fază a subpurtătoarei refăcute. Ținînd seama de relația (11.47), atenuarea de diafonie va fi

$$D = 20 \log \frac{1 + \cos 2\varphi}{1 - \cos 2\varphi}. \qquad (11.54)$$

*

În tabelul 11.2 sînt prezentate cîteva tipuri de radioreceptoare stereo.

Date tehnice pentru tunere și radioreceptoare stereofonice românești

Tabelul 11.2

	AMPLITUNER STEREO „DELIA" (Electromureș)	TUNER MA—MF STEREO T-350 (Electronica)	RADIORECEPTOR STEREO BUCUR 6 (Electronica)	RADIORECEPTOR S 702 TS MAESTRO STEREO (Electronica)
1	2	3	4	5
1. DOMENIUL LUNGIMILOR DE UNDĂ :				
UNDE LUNGI (kHz)	150—285	150—300	150—310	150—310
UNDE MEDII (kHz)	525—1 605	525—1 605	525—1 605	525—1 605
UNDE SCURTE 1 (MHz)	5,95—11,975	—	5,95—9,8	5,95—9,8
UNDE SCURTE 2 (MHz)	15,10—2 175	—	11,7—18	11,7—18
			5,95—6,2	5,95—6,2
		65—73		
UNDE ULTRASCURTE (MHz)	65,5—75	87,5—108	65—73	65— 73
2. FRECVENȚE Intermediare :				
MA (kHz)	465	465	465	465
MF (MHz)	10,7	10,7	10,7	10,7
3. SENSIBILITATEA LA BORNA DE ANTENĂ EXTERIOARĂ :				
UNDE LUNGI (μV)	160	100	125	125
UNDE MEDII (μV)	100	50	80	80
UNDE SCURTE 1 (μV)	70	—	60	80
UNDE SCURTE 2 (μV)	100	—	60	80
UNDE ULTRA SCURTE (μV)	—	5	5	10
4. SELECTIVITATEA :				
AM (dB)	36	36	30	30
FM (dB)	40	36	35	40
5. PUTEREA MAXIMĂ UTILĂ LA IEȘIRE (W)	2 × 20	2 × 20	2 × 6	2 × 5

Tabelul 11.2 (continuare)

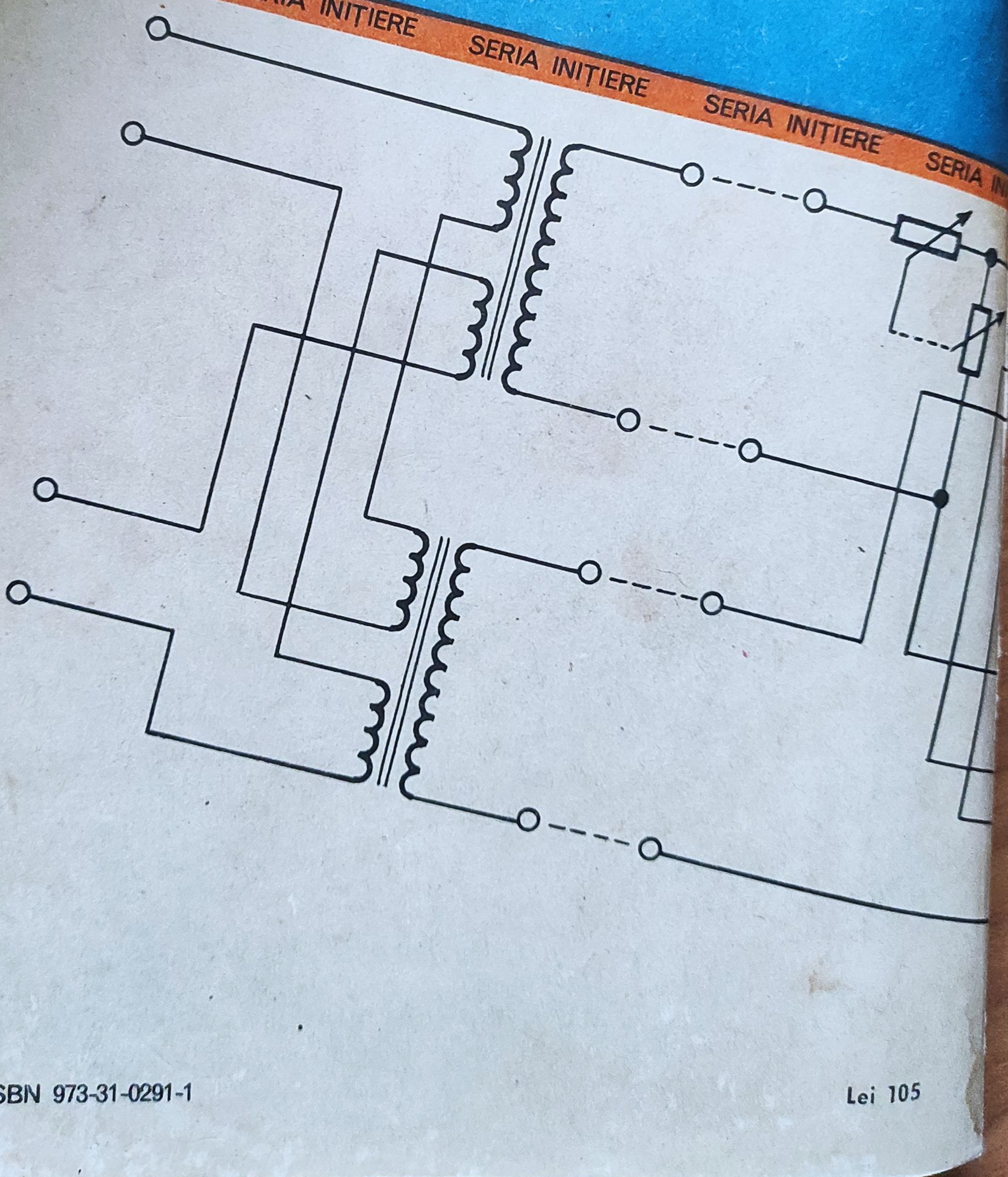
1	2	3	4	5
6. FACTORUL DE DISTORSIUNI ARMONICE (%)	0,7	1	10	10
7. SENSIBILITATEA ÎN AF LA BORNELE DE INTRARE:				
LA BORNA PICUP (mV)	2	2	25	—
LA BORNA MAGN. (mV)	200	200	25	
8. CARACTERISTICA DE FRECVENȚĂ				
UM (Hz)	40—3 500	40—3 500	100—3 000	100—3 000
UUS (Hz)	40—12 500	40—12 500	40—12 500	40—12 000
9. RAPORT SEMNAL/ ZGOMOT (dB)	85	57	50	50
10. EFICACITATEA REGLAJULUI DE TON:				
100 Hz (dB)	±10	±10	±8	—
10 000 Hz (dB)	±10	±10	±8	—
11. PLAJA DE REGLAJ A BALANSULUI STEREO (dB)	7	7	7	7
12. GRADUL DE EGALITATE STEREOFONICĂ (dB)	1	1	3	3
13. ATENUAREA DE DIAFONIE INTRE CANALE AF STEREO (dB)	40	40	30	—
14. ATENUAREA DE DIAFONIE A RADIORECEPTORULUI (dB)	30	30	22	—
15. ATENUAREA FRECVENȚEI PILOT (19 KHz) (dB)	40	40	25	25
16. ATENUAREA FRECVENȚEI SUBPURT. (38 KHz) (dB)	40	40	31	31
17. PUTEREA CONSUMATĂ (VA)	100	100	55	55

BIBLIOGRAFIE

1. E. Bădărau, M. Grumăzescu, *Bazele acusticii moderne*, Ed. Academiei, Bucureşti, 1961.
2. R. Ţiţeica, I. Popescu, *Fizică generală*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1971.
3. A. Necşulea, *Bazele acusticii clădirilor*, Ed. Academiei, Bucureşti, 1960.
4. M. Grumăzescu, *Măsurători acustice în construcţii*, Ed. Academiei, Bucureşti, 1960.
5. N. Wegener, *Elemente de proiectare acustică în construcţii*, Ed. Academiei, Bucureşti, 1960.
6. P. Hamardinguer, *La pratique de la stéréophonie*, Editions téchniques professionelles, G. Dufour, Paris, 1960.
7. R. Clonard, *Stéréophonie et radiodiffusion*, L'onde éléctrique, nr. 420/mars, 1962.
8. N. Necşulea, *Stereofonie şi pseudostereofonie*, Telecomunicaţii, nr. 3/1959, pag. 124—129.
9. T. M. Băjenescu, *Unele aspecte ale stereofoniei*, Telecomunicaţii, nr. 4/1961, pag. 170—175.
10. Ph. Romain, *Transmissions FM Multiplex et stéréophonie*, Toute la Radio, nr. 258/Sept. 1961, pp. 293=298.
11. J. F. Arnaud, *Emission et reception stereophonique*, Toute la Radio, sept. 1961, pag. 258.
12. E. Servan, *Picupuri şi discuri mono şi stereo*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1968.
13. C. Luca, L. Zănescu, *Montaje acustice pentru difuzoare*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1972.
14. C. Luca, P. Milcea, *Stereofonia şi aplicaţiile ei*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1963.
15. M. Berindei, N. Rebreanu, A. Mişcă, *Tehnica sunetului — Captarea*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1971.
16. C. Luca, L. Zănescu, *Tehnica sunetului — Sonorizare*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1970.
17. D. Suciu, *Radioreceptorul stereofonic*, Ed. tehnică, Bucureşti, 1972.
18. M. Popescu, *Magnetofonul*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1962.
19. D. Csabai, *Tehnica sonorizării*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1983.
20. M. Marinescu, *Difuzoare electrodinamice*, Ed. Academiei, Bucureşti, 1957.
21. M. Grumăzescu, P. Stubei, *Instalaţii de amplificare şi de distribuţie a sunetului*, Ed. Tehnică Bucureşti, 1959.
22. A. Doljanski, *Mic dicţionar muzical*, Ed. Muzicală, Bucureşti 1960.
23. N. V. Franssen, *Stéréophonie*, Ed. Dunod, Paris, 1964.
24. N. A. Garbuzov, *Muzikalnaia akustica*, Gasudarstvenoe muzicalnoe izdadelstvo, Moscova, 1954
25. P. Schaeffer, *Experiences musicales*, Richard-Masse Éditeurs, Paris, 1959.
26. A. Necşulea, *Electroacustica în sonorizare*, Ed. Tehnică, Buc. 1963.
27. C. Brown, *Audio. Întrebări şi răspunsuri*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1976.
28. G. Giniaux, *Un nouveau sisteme de radiodiffusion stereophonique a l'éssai*, Radio et Tv, nr. 402 avril 1962, p. 149.
29. S. Zaharia, N. Wegener, *Elemente de acustică şi electroacustică*, Ed. Didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1967.
30. A. Nisbett, *The Technique of the Sound Studio*, New York — Londra, Focal Press, 1966.
31. Harry F. Olson, *Modern Sound Reproduction*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1972.
32. A. E. Robertson, *Microphones*, London Iliffe Books Ltd., New York, 1975.
33. *Buletinul Technic al Radioteleviziunii Române*, 1981—1988.
34. *Revue du Son*, 1985—1989.
35. *Pro Sound News*, 1985—1989.

EDITURA TEHNICĂ

SERIA INIȚIERE SERIA INIȚIERE SERIA INIȚIERE SERIA INIȚIERE SERIA INIȚIERE SERIA INI



ISBN 973-31-0291-1

Lei 105